



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

Creación de un gemelo digital del motor de la CBR 600 RR con código PC40E del año
2007 para su uso en docencia.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación

TRABAJO FIN DE GRADO

**Creación de un gemelo digital del motor de la CBR 600 RR con
código PC40E del año 2007 para su uso en docencia.**

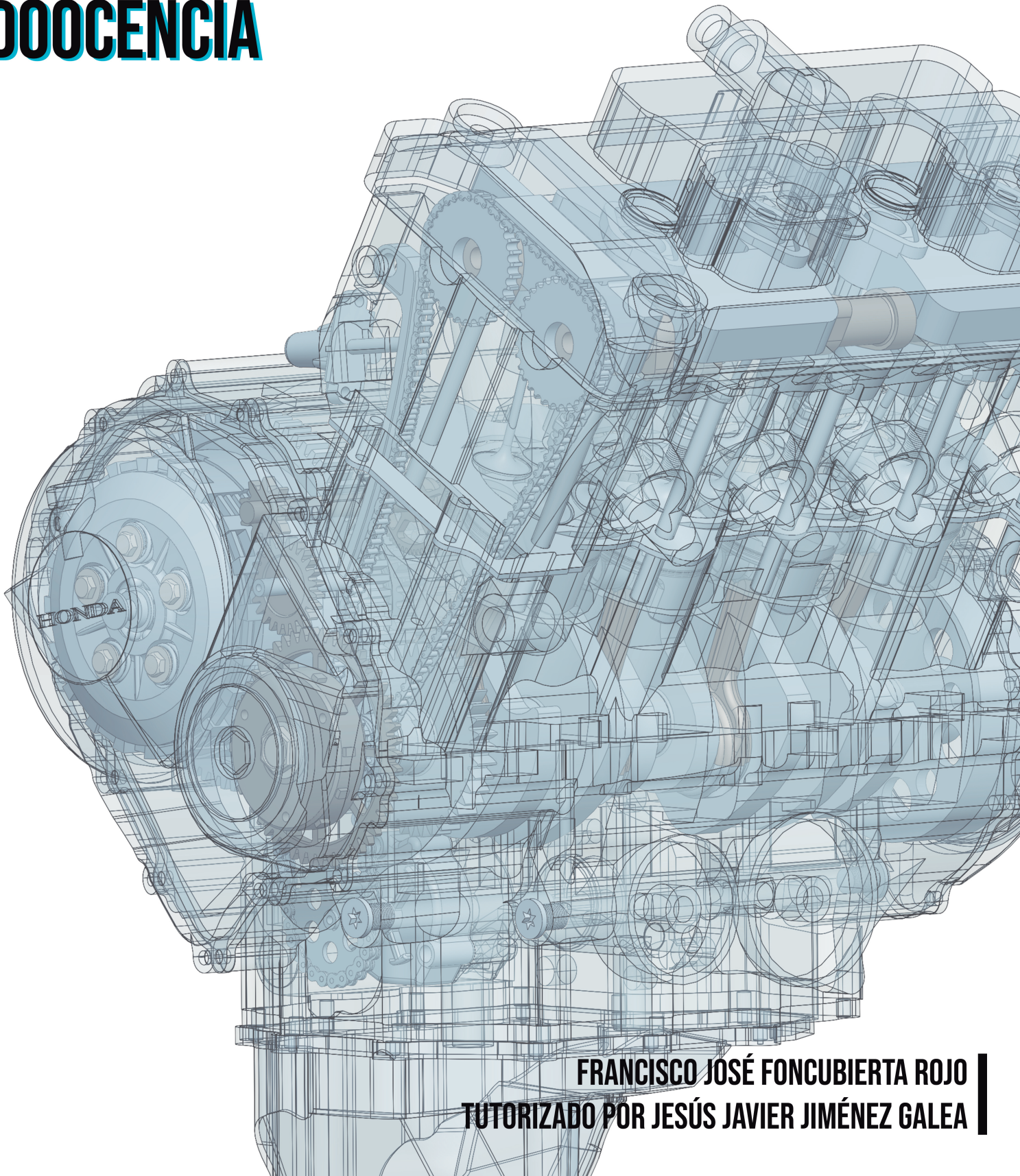
Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Francisco José Foncubierta Rojo

Tutor: Jesús Javier Jiménez Galea

MÁLAGA, enero de 2023

CREACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL DEL MOTOR DE LA CBR600RR CON CÓDIGO PC40E DEL AÑO 2007 PARA SU USO EN DOOCENCIA



FRANCISCO JOSÉ FONCUBIERTA ROJO
TUTORIZADO POR JESÚS JAVIER JIMÉNEZ GALEA

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor, Jesús, por el apoyo y la motivación que me ha otorgado en el proceso de construcción de este trabajo. Después de mucho tiempo de esfuerzo y dedicación hemos conseguido terminar este proyecto. Siempre ha logrado motivarme en los momentos más difíciles dándome los mejores consejos.

En segundo lugar, quiero agradecer también al equipo de Formula Student de Málaga, al que pertenezco desde hace más de tres años, ya que sin ellos nunca habría tenido acceso a los elementos y los conocimientos necesarios para realizar este proyecto. En especial, mencionar a Alejandro Ruiz, actual director técnico de MART y amigo, por la orientación que me ha ofrecido en estos meses de trabajo.

Por último, a mi familia y a mi pareja, por estar siempre presentes en todos mis logros personales y profesionales.

Resumen

El presente proyecto consiste en la elaboración de un gemelo digital de un motor de cuatro tiempos de gasolina realizado con el software de diseño CAD SolidWorks.

El motor, objeto de estudio del presente trabajo, pertenece a una motocicleta modelo CBR600RR en su variante de 2007 de la casa Honda. Un modelo icónico que vino a sustituir a la primera superdeportiva de media cilindrada fabricada por esta marca.

Nos encontramos ante un motor que cuenta con gran versatilidad y potencia, características que lo convierten en un motor idóneo para coches de rally, kart Cross y otras competiciones como, la competición Formula Student.

El motor referencia utilizado ha sido cedido, para su estudio, por el Equipo de Formula Student de Málaga, al que pertenece el autor del trabajo.

El acceso al conjunto referencia de piezas reales para la realización del modelo ha sido primordial para alcanzar el nivel de concreción al que se ha llegado.

El modelo resultante, no se trata de un modelo únicamente fijo, sino que se trata de un modelo dinámico, el cual, gracias a sus relaciones geométricas, permite la creación de animaciones y la interacción directa con el modelo con fines educativos.

Dispone de ensamblajes internos para la demostración de partes específicas del funcionamiento del motor, como ejemplo: el funcionamiento de las válvulas, embrague, cigüeñal, bomba de agua, bomba de aceite, etc.

Acrónimos

2T: Dos tiempos

4T: Cuatro tiempos.

AAA: Avance en la apertura de admisión.

AAE: Avance en la apertura de escape.

AE: Avance de encendido.

AI: Avance de inyección.

CAD: Computer-Aided Design

cc: Centímetro Cúbico.

CV: Caballo de Vapor.

DOHC: motor double overhead camshaft

MEC: Motor de Encendido por Compresión.

MART: Málaga Racing Team

MEP: Motor de Encendido Provocado.

MCIA: Motores de Combustión Interna Alternativos.

OHC: OverHead Camshaft/ Árbol de levas en culata

OHV: OverHead Valves/ Válvulas en culata

PMI: Punto Muerto Inferior.

PMS: Punto Muerto Superior.

RCA: Retraso en el cierre de admisión.

RCE: Retraso en el cierre de escape.

ECU: Unidad de Control Electrónico.



Índice

1. Introducción.....	18
2. Objetivos.....	20
3. Fundamento teórico	21
3.1. Generalidades.....	21
3.2. Clasificación	21
3.3. Parámetros geométricos	28
3.4. Parámetros de funcionamiento.....	30
3.5. Elementos constructivos de un Motor de Encendido Provocado	30
4. Antecedentes Históricos de Honda y las superdeportivas de media cilindrada	40
5. Software utilizado. Utilización de SolidWorks	59
5.1. Elección de la herramienta. (por qué SolidWorks).....	60
5.2. Muestra de la interfaz	62
6. Ensamblaje general y subensamblajes.....	69
6.1. Culata	71
6.2. Bloque superior.....	80
6.3. Bloque inferior.....	87
6.4. Caja de cambios	89
6.5. Embrague	92
6.6. Tapas de motor y cárter	97
7. Funcionamiento conjunto	101
7.1. Culata	103

7.2. Bloque superior.....	108
7.3. Bloque inferior.....	111
7.4. Caja de cambios.....	112
7.5. Embrague.....	113
7.6. Elementos representativos.....	115
7.7. Lubricación.....	117
8. Propuesta de mejora.....	119
8.1. Sistema de lubricación por cárter seco.....	119
8.2. Enfriador de aceite externo.....	120
8.3. Bomba de agua eléctrica regulable mediante el control PWM.....	120
8.4. Caja de Cambios.....	120
8.5. Pistones de alta compresión aligerados.....	121
8.6. Actuación de embrague.....	121
8.7. Modificación del Bloque motor para la mejora del empaquetado.....	121
8.8. Aligerado de piezas.....	122
8.9. Combustible.....	123
9. Futuras líneas de investigación.....	124
10. Conclusiones.....	125
11. Bibliografía.....	126
ANEXOS:.....	128
ANEXO A. Piezas y operaciones realizadas para su modelado.....	128
ANEXO B. Ensamblajes y visualizaciones en conjunto.....	154

Tabla de imágenes

FIGURA 1. CICLOS DE TRABAJO DE UN MOTOR 4T.....	23
FIGURA 2. DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE UN MOTOR 4T	24
FIGURA 3. DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE UN MOTOR 2T	25
FIGURA 4. DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN SIMÉTRICO Y ASIMÉTRICO DE UN MOTOR 2T	26
FIGURA 5. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE CILINDROS	28
FIGURA 6. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE UN CILINDRO.....	28
FIGURA 7. UNIDAD DE POTENCIA DEL M23RT	31
FIGURA 8. CONJUNTO BLOQUE SUPERIOR E INFERIOR DEL MOTOR REAL	32
FIGURA 9. BANCADA SUPERIOR E INFERIOR DEL MOTOR REAL.....	33
FIGURA 10. CULATA DEL MOTOR REAL	34
FIGURA 11. CONFIGURACIÓN CUATRO VÁLVULAS POR CILINDRO DEL MOTOR REAL.....	35
FIGURA 12. CONJUNTO BIELA-PISTÓN-SEGMENTOS DEL MOTOR REAL	36
FIGURA 13. CIGÜEÑAL DEL MOTOR REAL	37
FIGURA 14. ELEMENTOS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL MOTOR REAL	38
FIGURA 15. EXTERIOR DE LA FÁBRICA DE HAMAMATSU EN 1948	40
FIGURA 16. LA PRIMERA HONDA	41
FIGURA 17. HONDA A-TYPE	42
FIGURA 18. LA PRIMERA HONDA	43
FIGURA 19. HONDA DREAM E	44
FIGURA 20. HONDA TYPE-F CUB	44
FIGURA 21. HONDA MODEL J BENLY.....	44
FIGURA 22. HONDA JUNO K	45
FIGURA 23. HONDA 250SA DREAM	45
FIGURA 24. HONDA JC57 BENLY.....	45
FIGURA 25. HONDA C70 DREAM	45
FIGURA 26. HONDA SUPER CUB	46
FIGURA 27. HONDA CB92 BENLY SUPER SPORT	47
FIGURA 28. HONDA DREAM CB450	48
FIGURA 29. HONDA CB750 DREAM FOUR.....	49
FIGURA 30. HONDA CB750 DREAM FOUR 2	50
FIGURA 31. HONDA CBR 250 R	51
FIGURA 32. HONDA CBR 600 F.....	52
FIGURA 33. HONDA CBR 900R FIREBLADE	52
FIGURA 34. HONDA CBR1100XX SUPER BLACKBIRD.....	53

FIGURA 35. HONDA CBR900RR.....	54
FIGURA 36. CBR600RR PC37.....	54
FIGURA 37. CBR600RR PC40.....	55
FIGURA 38. MOTOR CBR600RR PC40	56
FIGURA 39. MODELO RENDERIZADO DEL MOTOR CBR600RR PC40.....	57
FIGURA 40. HONDA CBR650R.....	58
FIGURA 41. IMAGEN CORPORATIVA DE SOLIDWORKS	59
FIGURA 44. EJEMPLO DEL USO DEL MÓDULO DIBUJO.	63
FIGURA 43. PARTICIÓN DE LA PANTALLA DE SOLIDWORKS	64
FIGURA 44. VISTA EN SECCIÓN DEL ENSAMBLAJE	65
FIGURA 45. BARRA DE HERRAMIENTA SUPERIOR, CON LA PESTAÑA DE ENSAMBLAJE DESPLEGADA.	65
FIGURA 46. PESTAÑAS DE ‘DISEÑO’ Y ‘CROQUIS’ DE LA BARRA DE HERRAMIENTAS SUPERIOR.....	66
FIGURA 47. PESTAÑA DE ‘CALCULAR’ DE LA BARRA DE HERRAMIENTAS SUPERIOR.....	66
FIGURA 48. PESTAÑA DE ‘COMPLEMENTOS DE SOLIDWORKS’ DE LA BARRA DE HERRAMIENTAS SUPERIOR.	66
FIGURA 49. GESTOR DE DISEÑO CON LA PESTAÑA ‘FEATUREMANAGER’ ACTIVA.	68
FIGURA 50. ESCÁNER SUPERFICIAL PREVIO.....	69
FIGURA 51. BLOQUE MACIZO MODELADO EXTERIORMENTE.....	70
FIGURA 52 Y 53. BLOQUE PRIMITIVO DE LA CULATA EXTRAÍDA DEL BLOQUE MACIZO	71
FIGURA 54. OPERACIONES UTILIZADAS PARA LA DEFINICIÓN DE LA CULATA	72
FIGURA 56. MANUAL DE DESPIECE DE VÁLVULAS	73
FIGURA 59 Y 60. CROQUIS Y MODELADO DE LA VÁLVULA DE ESCAPE.	74
FIGURA 61. EXPLOSIONADO DE LOS ELEMENTOS LIGADOS A LA VÁLVULA.....	76
FIGURA 62 ÁRBOL DE LEVAS DE ADMISIÓN.....	77
FIGURA 63. CORONA DE DISTRIBUCIÓN Y OPERACIONES NECESARIAS PARA SU MODELADO.	78
FIGURA 64. TORRETAS.....	78
FIGURA 65. TENSOR DE LA DISTRIBUCIÓN	79
FIGURA 66. BUJÍA MODELO Y 67. BUJÍA REAL	79
FIGURA 68. BLOQUE SUPERIOR PRIMITIVO.....	80
FIGURA 69. MODELADO FINAL DEL BLOQUE SUPERIOR	80
FIGURA 70. OPERACIONES REALIZADAS PARA LA CREACIÓN DEL BLOQUE SUPERIOR	81
FIGURA 71. CONJUNTO CIGÜEÑAL-BIELA-PISTÓN	82
FIGURA 72. ENSAMBLAJE BIELA-PISTÓN-BULÓN.....	83
FIGURA 73. PARTES DE LA BIELA	83
FIGURA 74. VISTAS CABEZA DE PISTÓN.....	84
FIGURA 75. OPERACIONES REALIZADAS PARA LA CREACIÓN DE LA CABEZA DE PISTÓN.....	84

FIGURA 76. EXPLOSIONADO Y SECCIÓN DEL CONJUNTO CIGÜEÑAL-BIELA-PISTÓN	84
FIGURA 77. SISTEMA DE ARRANQUE	85
FIGURA 78. JUNTA DE CULATA	86
FIGURA 79. BLOQUE INFERIOR PRIMITIVO.....	87
FIGURA 80. MODELO FINAL DEL BLOQUE INFERIOR.....	87
FIGURA 81. OPERACIONES REALIZADAS PARA LA CREACIÓN DEL BLOQUE INFERIOR.	88
FIGURA 82. MODELADO FINAL DE LA CAJA DE CAMBIOS.....	89
FIGURA 83. EJE PRIMARIO Y SECUNDARIO.....	89
FIGURA 84. EXPLOSIONADO DE LOS EJES PRIMARIO (SUPERIOR) Y SECUNDARIO (INFERIOR).....	90
FIGURA 85. CONJUNTO SELECTOR DEL CAMBIO.....	90
FIGURA 86. CONJUNTO SELECTOR DEL CAMBIO.....	91
FIGURA 87. LOCALIZACIÓN DEL CONJUNTO SELECTOR DEL CAMBIO JUNTO AL EJE PRIMARIO Y SECUNDARIO	91
FIGURA 88. ALZADO Y PLANTA DEL EMBRAGUE	92
FIGURA 89. EXPLOSIONADO EMBRAGUE.....	92
FIGURA 90. EXPLOSIONADO EMBRAGUE.....	93
FIGURA 91. MODELADO DE LOS DISCOS CON FERODO Y SEPARADORES	93
FIGURA 92. VISTA DE LOS DISCOS CON FERODO Y OPERACIONES REALIZADAS.	93
FIGURA 94. MODELADO FINAL DE LA CANASTA Y OPERACIONES REALIZADAS PARA SU MODELADO.....	94
FIGURA 95. MODELADO FINAL DE LA CAMPANA Y OPERACIONES REALIZADAS PARA SU MODELADO	94
FIGURA 96. MODELADO FINAL DEL PLATO EMPUJADOR Y OPERACIONES REALIZADAS PARA SU MODELADO.....	94
FIGURA 97. MODELADO FINAL DE LA BOMBA DE ACEITE	95
FIGURA 98. EXPLOSIONADO DE LA BOMBA DE ACEITE.....	95
FIGURA 99. UNIÓN BOMBA DE ACEITE CON EL EJE PRIMARIO.....	96
FIGURA 100. TAPAS DEL MOTOR Y CÁRTER.....	97
FIGURA 101. MODELADO FINAL DEL CÁRTER ORIGINAL	98
FIGURA 102. MODELADO FINAL DEL CÁRTER DEL MOTOR M23RT	98
FIGURA 103. MODELADO FINAL DE LA TAPA LATERAL IZQUIERDA Y OPERACIONES REALIZADAS PARA SU MODELADO	98
FIGURA 104. MODELADO FINAL DE LA TAPA LATERAL DERECHA Y OPERACIONES REALIZADAS PARA SU MODELADO	99
FIGURA 105. MODELADO FINAL DE LA TAPA DE LA CULATA	100
FIGURA 106. RELACIONES DE POSICIÓN EXISTENTES EN SOLIDWORKS	102
FIGURA 107. ENSAMBLAJE PARCIAL DE LA CULATA	103
FIGURA 108. RELACIÓN DE POSICIÓN ARBOLES DE LEVAS CON LA CULATA	103
FIGURA 109. ENSAMBLAJE DE LA CULATA SIN TORRETAS.....	104
FIGURA 110. INSERCIÓN DE LA VÁLVULA	104
FIGURA 111. CONJUNTO DE VÁLVULAS RELACIONADAS CON EL ÁRBOL DE LEVAS.....	104
FIGURA 112. SECCIÓN DEL ENSAMBLAJE CULATA, ÁRBOL DE LEVAS Y CONJUNTO DE VÁLVULAS	105

FIGURA 113. OPERACIÓN DE SIMETRÍA PARA LAS VÁLVULAS.....	105
FIGURA 114. ENSAMBLAJE COMPLETO DE LA CULATA	106
FIGURA 115. SECCIÓN PARA LA REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN.....	106
FIGURA 116. ADMISIÓN-COMPRESIÓN-EXPLOSIÓN-ESCAPE	107
FIGURA 117. ENSAMBLAJE BLOQUE SUPERIOR Y PISTONES-CIGÜEÑAL, VISTA SUPERIOR.....	108
FIGURA 118. ENSAMBLAJE BLOQUE SUPERIOR Y PISTONES-CIGÜEÑAL, VISTA INFERIOR	108
FIGURA 119. ENSAMBLAJE BLOQUE SUPERIOR Y PISTONES-CIGÜEÑAL, VISTA CON TRANSPARENCIA	109
FIGURA 120. ENSAMBLAJE BLOQUE SUPERIOR Y PISTONES-CIGÜEÑAL VISTA LATERAL DERECHO	109
FIGURA 121. ENSAMBLAJE BLOQUE SUPERIOR Y PISTONES-CIGÜEÑAL, VISTA LATERAL DERECHO CON ARRANQUE	110
FIGURA 122. ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO BLOQUE INFERIOR CON LA CULATA	111
FIGURA 123. ENSAMBLAJE BLOQUE INFERIOR, CAJA DE CAMBIOS, ARRANQUE Y CONJUNTO PISTONES-CIGÜEÑAL	111
FIGURA 124. ACOPLE BOMBA DE ACEITE EN BLOQUE INFERIOR	112
FIGURA 125. SECCIÓN DE LOS BLOQUES PARA LA VISUALIZACIÓN DE LA CAJA DE CAMBIOS	112
FIGURA 126. CONJUNTO DE LA FIGURA 110 COMPLETAMENTE RELACIONADO.....	114
FIGURA 127. RELACIONES DE POSICIÓN DEL EMBRAGUE	114
FIGURA 128. ELEMENTOS REPRESENTATIVOS	115
FIGURA 129. ESLABÓN DE DISTRIBUCIÓN Y DE BOMBA DE ACEITE	116
FIGURA 130. TRAYECTORIAS DE LAS CADENAS	116
FIGURA 131. RELLENO DE LAS TRAYECTORIAS CON ESLABONES	116
FIGURA 132. ENSAMBLAJE BOMBA DE ACEITE	117
FIGURA 133. RELACIONES DE POSICIÓN DEL ENSAMBLAJE BOMBA DE ACEITE	118
FIGURA 134. CULATA.....	128
FIGURA 135. CIGÜEÑAL.....	129
FIGURA 136. BLOQUE SUPERIOR	130
FIGURA 137. BLOQUE INFERIOR	131
FIGURA 138. CARTER	132
FIGURA 139. TAPA DE ALTERNADOR.....	132
FIGURA 140. TAPA DE CULATA.....	133
FIGURA 141. TAPA DE EMBRAGUE	134
FIGURA 142. CABEZA DE PISTÓN	135
FIGURA 143. BIELA.....	135
FIGURA 144. SOMBRERETE DE BIELA	136
FIGURA 145..BULÓN	136
FIGURA 146.BENDIX	136
FIGURA 147. CORONA DE BENDIX.....	137

FIGURA 148. ENGRANAJE DE REENVÍO DEL ARRANQUE	137
FIGURA 149. PIÑÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL CIGÜEÑAL	137
FIGURA 150. ENGRANAJE AUXILIAR DEL ARRANQUE.....	138
FIGURA 151. CANASTA DE EMBRAGUE.....	138
FIGURA 152. CAMPANA DE EMBRAGUE	139
FIGURA 153. EMPUJADOR DE DISCOS DE EMBRAGUE	139
FIGURA 154. DISCO DE EMBRAGUE	140
FIGURA 155. SEPARADOR DE DISCOS DE EMBRAGUE	140
FIGURA 156. CASQUILLO INTERIOR	141
FIGURA 157. CASQUILLO EXTERIOR	141
FIGURA 158. CORONA CADENA DE LA BOMBA DE ACEITE	141
FIGURA 159. RODAMIENTO DE AGUJAS DE EMBRAGUE	142
FIGURA 161. MUELLE DE EMBRAGUE	142
FIGURA 162. TUERCA DE BLOQUEO PARA EMBRAGUE	143
FIGURA 164. ACCIONADOR DE EMBRAGUE	144
FIGURA 165. CORONA DE BOMBA DE ACEITE.....	144
FIGURA 166. ESLABÓN DE LA CADENA PARA LA BOMBA DE ACEITE	144
FIGURA 167. BLOQUE EXTERIOR BOMBA DE ACEITE	145
FIGURA 168. ROTOR EXTERIOR BOMBA DE ACEITE.....	145
FIGURA 169. ROTOR INTERIOR BOMBA DE ACEITE	145
FIGURA 170. EJE DE LA BOMBA DE ACEITE	146
FIGURA 171. JUNTA DE ACERO ENTRE BLOQUES DE LA BOMBA DE ACEITE.....	146
FIGURA 172. TAPÓN PARA EL MECANIZADO DE LOS CONDUCTOS DE ACEITE.....	147
FIGURA 173. TAQUÉ.....	147
FIGURA 174. CHAVETA CÓNICA.....	147
FIGURA 175. PASTILLA CALBRADA.....	148
FIGURA 176. MUELLE INTERIOR DE LA VÁLVULA	148
FIGURA 177. MUELLE EXTERIOR DE LA VÁLVULA	148
FIGURA 178. COPELA.....	148
FIGURA 179. VÁLVULA DE ADMISIÓN	149
FIGURA 180. VÁLVULA DE ESCAPE	149
FIGURA 181. ÁRBOL DE LEVAS	150
FIGURA 182. BUJÍA.....	151
FIGURA 183. PALANCA DE CAMBIO	151
FIGURA 185. EJE SECUNDARIO DE LA CAJA DE CAMBIOS.....	152
FIGURA 186. TAMBOR SELECTOR.....	152



FIGURA 188. ENSAMBLAJE COMPLETO.....	154
FIGURA 189. ENSAMBLAJE COMPLETO EN VISTA TRANSPARENCIA.....	155
FIGURA 190. ENSAMBLAJE COMPLETO CON EXPLOSIONADO DE LA CULATA.....	156
FIGURA 191. ENSAMBLAJE COMPLETO CON EXPLOSIONADO BLOQUE SUPERIOR	157
FIGURA 192. ENSAMBLAJE COMPLETO, EXPLOSIONADO LATERAL	158

1. Introducción

La motivación de este proyecto surge de la necesidad de tener un CAD lo más fiel a la realidad para el correcto modelado de la estructura que sostiene este en el coche de competición de la universidad de Málaga que fabrica el equipo de Formula Student: MART.

Al principio era una mera toma de medidas para que a la hora de ocupar los huecos de la parte trasera del chasis nada interfiera con el bloque motor y todo siga un orden correcto.

Mas tarde tomó un ámbito artístico ya que cuanto más fiel fuera el modelo más fiable serían las medidas del CAD completo, hasta el punto de pasar de un bloque solido a un motor cada vez con más detalle.

Cuando este ya sirvió para realizar simulaciones de esfuerzos que aportaba el motor a nivel estructural al chasis, decidí darle una segunda vida a este CAD básico aportándole particiones y piezas más complejas para que dejara de ser un bloque solido a ser un ensamblaje de muchos elementos copiados de la realidad.

A partir de aquí este proyecto se convierte en una herramienta interactiva y dinámica para conocer todos los elementos del motor y su funcionamiento.

El motor objeto de estudio es un Motor de Encendido Provocado (MEP) donado de la mítica superdeportiva de media cilindrada de la marca Honda modelo CBR600RR con código de fabricación PC40 del año 2007. Se trata de un motor que adquirió el equipo para las competiciones futuras pero que no se sabía el estado de este ya que provenía de un desguace, por tanto, se desmonto completamente para hacer una restauración completa y así dejarlo en condiciones óptimas para las competiciones de Formula Student.

Este trabajo consta de una introducción histórica de la marca Honda, empresa fabricante de dicha motocicleta y, por ende, de dicho motor, una introducción de las primeras superdeportivas comerciales, un análisis de los componentes de este motor en

comparación con sus competidores de la época y por último el desarrollo de este modelo para su uso didáctico, que es donde nos centraremos la mayor parte.

Para un buen entendimiento del funcionamiento del motor se han creado estudios de movimientos, explosionados, cortes y planos acotados de cada una de las piezas que lo componen.

Por último, se ha intentado dar unos conocimientos básicos de SolidWorks para que el usuario pueda manejar el modelo fácilmente y crear piezas sin haberlo usado anteriormente.

2. Objetivos

Para la realización del CAD se seguirá un orden de trabajo específico. En primer lugar, se desmonta el motor en cuestión, este motor se trata del modelo de pruebas del equipo Málaga Racing Team, por lo tanto, se posee con el completo acceso a este y a todas sus piezas. Una vez desmontado se etiquetan todas sus piezas para tenerlas organizadas dependiendo del ensamblaje al que pertenezcan. El siguiente paso será modelar todas y cada una de las piezas, para ello usaremos un calibre digital de alta presión y un goniómetro digital, con estas herramientas tomaremos todas las medidas para poder esbozar croquis en papel de una manera rápida. Después de tener el croquis hecho se pasará a un formato digital con las herramientas

de croquizado de las que dispone el software de SolidWorks, hay que tener en cuenta un buen orden de croquizado ya que de esto dependerá que hagamos las mínimas operaciones necesarias para elaborar los modelos. Las operaciones más usadas van a ser: extrusión corte, extrusión saliente, revolución, corte por barrido, corte por recubierto, asistente para taladros y también se creará geometrías de referencia como planos y ejes para tener referencias a la hora de croquizar y ensamblar.

Con todas las piezas modeladas se procede a la creación del ensamblaje. Para que sea organizado y la CPU no se sobrecargue se usan subensamblajes, ya que tiene cientos de piezas y muchas más relaciones geométricas provocando una carga excesiva que no todo ordenador es capaz de procesar, estos subensamblajes consisten en ensamblar cantidades limitadas de piezas en función de sus relaciones geométricas y del funcionamiento que tienen. Por ejemplo, ensamblaremos el embrague completo en un subensamblaje el cual se compondrá de todos sus discos, maza, boque, campana, muelles, etc. Esto hace que a la hora de hacer modificaciones no se alteran el resto de las relaciones geométricas evitando así errores de reconstrucción y al final se está ensamblando un conjunto de subensamblajes mucho más organizado y fácil de editar.

3. Fundamento teórico

A continuación, se va a hacer un breve estudio de las partes más importantes en los motores de combustión interna alternativos o también llamados MCIA. Nos centraremos en los motores de encendido provocado “MEP” ya que es el tipo de estudio en este trabajo.

3.1. Generalidades

La definición de motor se expresa como un elemento o máquina que genera energía mecánica a partir de otro tipo de energía, en este caso el motor térmico usa una transformación de energía térmica procedente de un fluido compresible.

La combustión de la materia para generar esta energía térmica se puede realizar de forma externa al fluido de trabajo o directamente en el propio fluido, normalmente en este caso será una mezcla de aire y combustible. Son los llamados motores de combustión externa y motores de combustión interna.

Dentro de los MCIA, existen dos tipos:

- Motores de combustión continua: la combustión sucede de forma ininterrumpida.
- Motores de combustión discontinua: la combustión ocurre de forma discontinua, este es el caso de un pulsorreactor.

El fluido puede realizar un trabajo sobre una superficie en movimiento, desplazándose de manera rotativa, motor tipo Wankel, o de manera rectilínea, motor alternativo.

3.2. Clasificación

Se va a realizar una clasificación de los MCIA en función de varios parámetros.

3.2.1. Según sea el proceso de combustión

- Motores de encendido provocado (MEP)

En este caso la mezcla se enciende debido a una aportación de energía externa, es decir, una chispa que enciende la mezcla provocada por una bujía la cual debe generar ese pulso en el momento exacto para conseguir el mayor rendimiento posible.

Esta mezcla de aire y combustible se puede realizar fuera del cilindro, como en los motores de inyección indirecta o de carburadores, aunque actualmente lo más común es encontrar motores modernos de inyección directamente en el cilindro para que la combustión sea más precisa y eficiente, estos son los motores de inyección directa.

- Motores de encendido por la compresión de la mezcla (MEC)

Estos motores tienen la característica de auto encender la mezcla debido a las altas temperaturas y presiones en la cámara de combustión. La inyección del combustible se produce al final de la compresión cuando las temperaturas del aire son más altas.

3.2.2. Según número de revoluciones por ciclo

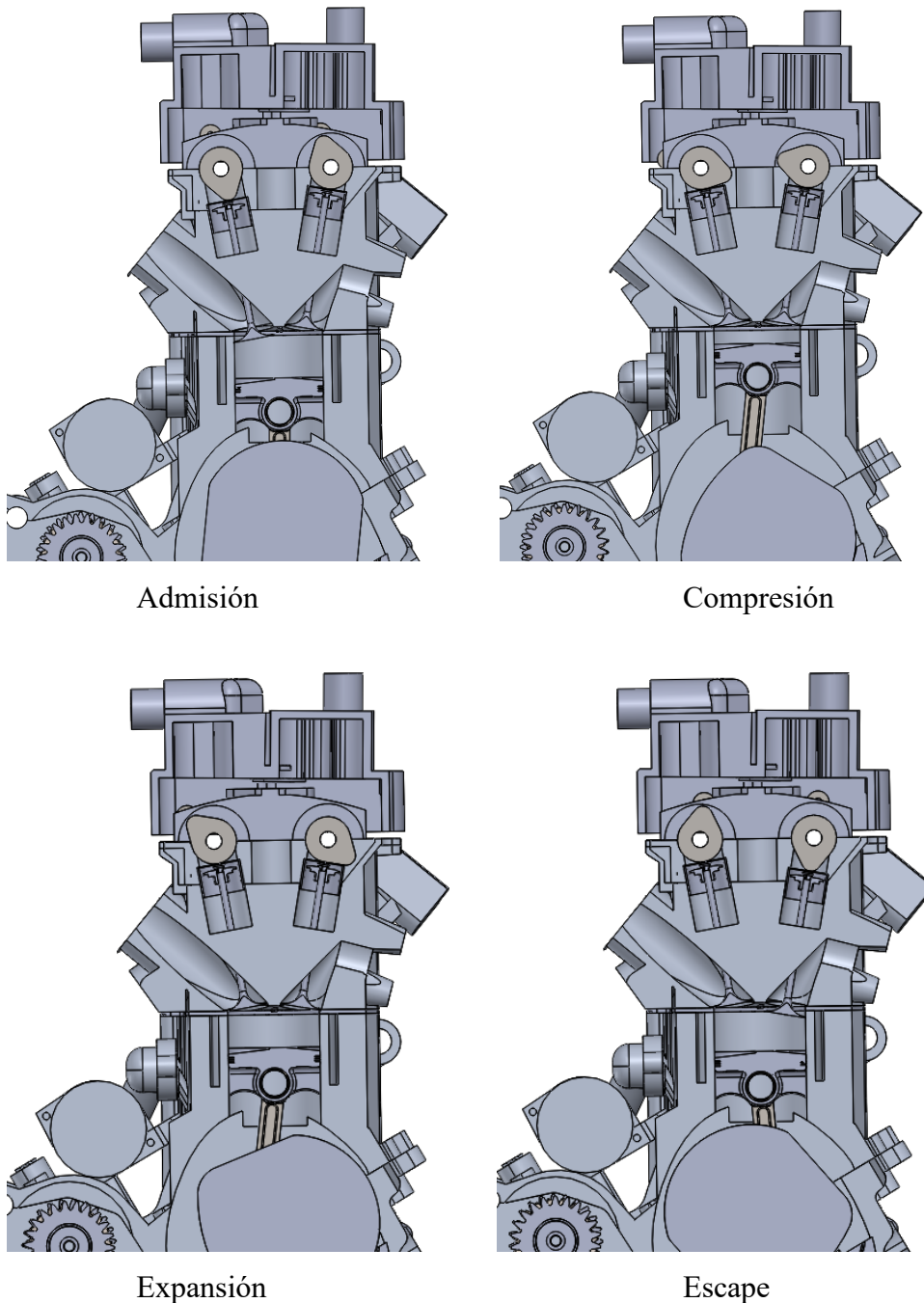
- Motores de 4 tiempos

En los motores de 4 tiempos, el ciclo de trabajo se produce en dos revoluciones del cigüeñal, es decir en 720°. El proceso se divide en 4 tiempo o etapas.

- Admisión: en un primer instante se abren las válvulas de admisión y se cierran las de escape, debido a la bajada del pistón se crea una depresión que se aprovecha para absorber la mezcla mediante la tobera de admisión. Cuando el pistón llega a la parte más baja, este es el punto muerto inferior o PMI, se cierran las válvulas de admisión.
- Compresión: el pistón comienza a subir después de llegar al PMI para alcanzar de nuevo el punto muerto superior, que es la posición más alta de este también llamada PMS. En este recorrido se produce la chispa generada por la bujía en el caso de los MEP o se inyecta el combustible en el caso de los MEC.
- Expansión: al producirse la combustión aumenta en gran medida la presión desplazando el pistón nuevamente al PMI. Este desplazamiento es el que genera trabajo que se aprovecha para producir energía mecánica.

- Escape: en el momento que el pistón llega al PMI se abren las válvulas de escape, de manera que cuando el pistón vuelve a subir expulsa los gases de escape por su conducto.

Figura 1. Ciclos de trabajo de un motor 4T.



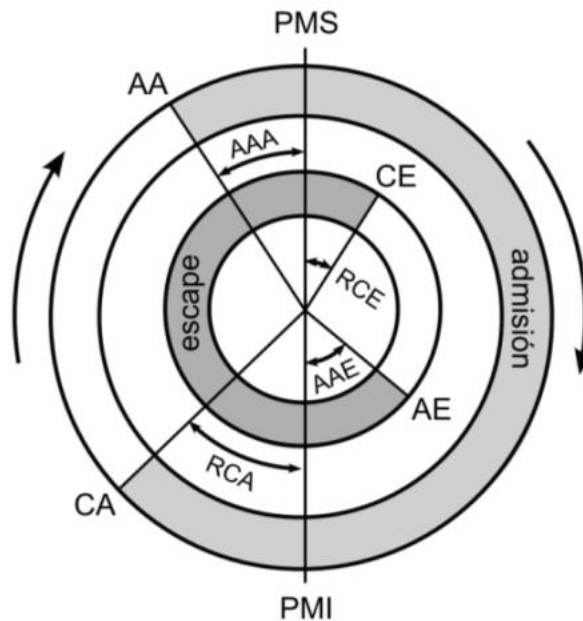
Nota. Elaboración propia

Debido a la compresibilidad del aire y que la combustión no se realiza a volumen constante, los procesos anteriores no ocurren en los puntos muertos. Por lo tanto, es necesario variar el momento en el que se abren y cierran las válvulas.

- Avance en la apertura de admisión (AAA).
- Retraso en el cierre de admisión (RCA).
- Avance en la apertura de escape (AAE).
- Retraso en el cierre de escape (RCE).
- Avance de encendido (AE) o avance de inyección (AI).

Estos avances y retrasos se representan en un diagrama de distribución aplicado a los motores de 4T representando un ciclo completo de 720°.

Figura 2. Diagrama de distribución de un motor 4T



Nota. Imagen extraída del Motores de combustión interna alternativos por Payri González, F., y Desantes Fernández, J. M., 2011.

- Motores de 2 tiempos

Este tipo de motor completa el ciclo en una sola revolución del cigüeñal produciendo los cuatro mismos procesos que en los 4T: expansión, escape, barrido, compresión. Estos tendrán una menor duración ya que cuenta con 360° y no con 720°.

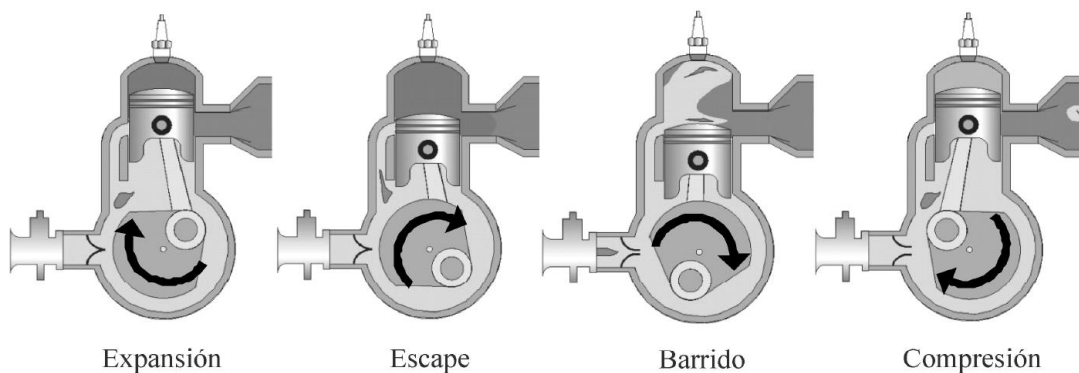
La diferencia más significativa entre estos dos tipos de motores es el proceso de renovación de la carga ya que gran parte de los procesos de admisión y escape ocurren a la vez en el proceso de barrido. Los gases frescos empujan a los gases de combustión hacia la lumbrera de escape.

Los motores de 2 tiempos se caracterizan por tener lumbreras que se abren al paso del pistón y no tener válvulas de admisión y escape.

Se diferencian 3 tipos de lumbreras:

- Lumbrera de admisión: introduce el aire fresco.
- Lumbrera de escape: expulsa los gases quemados.
- Lumbrera de transferencia: comunica el cárter con el cilindro.

Figura 3. Diagrama de distribución de un motor 2T



Nota. Imagen extraída del Motores de combustión interna alternativos por Payri González, F., y Desantes Fernández, J. M., 2011.

El proceso de escape empieza mucho antes que en un motor de 4T, al bajar el pistón descubre la lumbrera de escape y estos abandonarán el cilindro debido a la alta presión. Justo después se inicia el proceso de admisión antes de que el pistón llegue al PMI, la

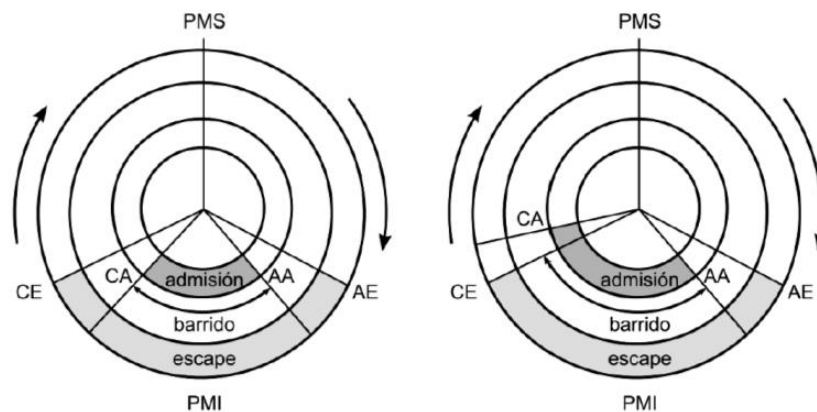
presión en el interior es menor tras la apertura de la lumbrera de escape dejando entrar los gases frescos, los cuales expulsan los gases quemados restantes al exterior al entrar este aire al interior, para esto es necesario que exista una diferencia de presiones entre la tobera de admisión y el conducto de escape.

Una vez el pistón comienza a subir al PMS permanecen las lumbreras de admisión y escape abiertas, que se cierran al subir el pistón.

En el momento que termina la fase de barrido empieza la fase de compresión, antes de llegar al PMS se abre la lumbrera de transferencia comunicando el cárter con el cilindro y dejando pasar los gases.

Según como se cierran las lumbreras existen dos tipos de barrido, simétrico y asimétrico. Un barrido asimétrico normalmente es más eficaz, pero necesita un mecanismo de distribución parecido a los motores de 4T.

Figura 4. Diagramas de distribución simétrico y asimétrico de un motor 2T



Nota. La imagen de la izquierda muestra el diagrama de distribución simétrico mientras que el de la derecha muestra la distribución asimétrica. Imagen extraída del Motores de combustión interna alternativos por Payri

González, F., y Desantes Fernández, J. M., 2011.

3.2.3. Según presión de admisión

La presión en el colector de admisión sirve para introducir gases frescos al cilindro, dependiendo de esta presión existen dos tipos de motores, los de aspiración natural y los sobrealimentados.

- Motores atmosféricos

La presión es creada por el movimiento del cilindro hacia el PMI creando una presión negativa menor que la de la atmosfera haciendo que los gases frescos entren en el cilindro.

- Motores sobrealimentados

En estos motores se utilizan turbocompresores para aumentar la presión, introduciendo de manera forzada los gases en el interior del cilindro. El objetivo de este aumento de presión es aumentar la densidad del aire que entra para poder añadir más combustible aumentando así la potencia y el rendimiento del motor.

3.2.4. Según sistema de refrigeración

En los motores se necesita un sistema de refrigeración que limite los esfuerzos y deformaciones permitiendo al motor trabajar durante periodos largos manteniendo una temperatura óptima. En este punto se diferencian motores refrigerados por aire, por agua o mixtos.

- Motores refrigerados por aire

El aire es el encargado de refrigerar el motor. Para aumentar la transferencia de calor se necesita una mayor superficie de contacto con el aire, por lo tanto, se usan aletas entre las que pasará el aire bajando la temperatura del motor.

- Motores refrigerados por líquido

El líquido refrigerante circula por las tuberías de refrigeración del motor utilizando un radiador donde se produce el intercambio de calor. Este sistema es más efectivo y se utiliza en la mayoría de los motores actuales.

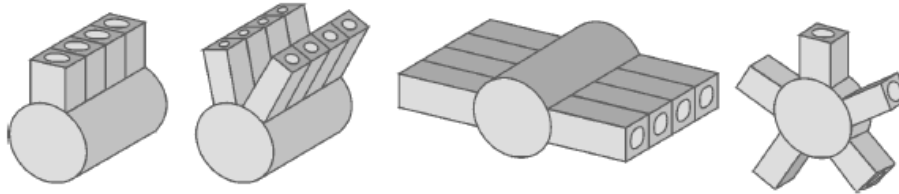
3.2.5. Según número y disposición de cilindros

En este apartado existen una gran variedad de combinaciones y disposiciones.

- Motor en línea: CBR 600 RR.
- Motor en V: formando un ángulo de 60° o 90° normalmente.

- Motor de cilindros opuestos: los cilindros forman un ángulo de 180° entre sí.
- Motor en estrella: se utiliza en aeronáutica de bajo rendimiento.

Figura 5. Tipos de distribución de cilindros

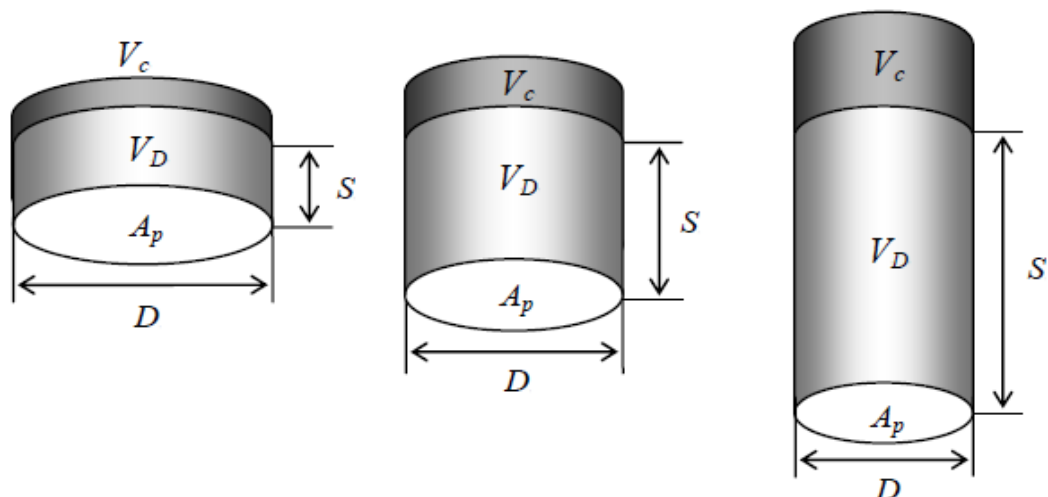


Nota. Imagen extraída del Motores de combustión interna alternativos por Payri González, F., y Desantes Fernández, J. M., 2011.

3.3. Parámetros geométricos

- Diámetro del cilindro: también llamado calibre, es uno de los parámetros más representativos de un motor junto con la carrera. El diámetro del cilindro es mayor que el del pistón ya que este se desplaza en su interior y es necesario un coeficiente de fricción mínimo entre ambos.
- Carrera del pistón: distancia que se desplaza el pistón desde el PMS al PMI.

Figura 6. Parámetros geométricos de un cilindro



Nota. Imagen extraída del Motores de combustión interna alternativos por Payri González, F., y Desantes Fernández, J. M., 2011.

- Relación carrera/diámetro: parámetro que describe la clasificación en motores supercuadrados, cuadrados o alargados según el S/D menor, igual o mayor a la unidad.
- Longitud de la biela: la biela une el pistón con la muñequilla del cigüeñal, siendo óptimo una longitud mínima entre sus centros.
- Sección del pistón: sección transversal del pistón.
- Cilindrada unitaria: volumen desplazado por el pistón desde el PMS al PMI.
- Volumen total de la cámara de combustión: volumen que queda libre justo cuando el pistón se encuentra en PMS.
- Relación de compresión: es el cociente entre de la suma del volumen de la cámara de combustión más el volumen unitario entre el volumen de la cámara de combustión.
- Número y diámetro de válvulas.
- Levantamiento de válvulas: el levantamiento no debe ser superior al 25% del diámetro de la válvula y se medie respecto al asiento.
- Sección de paso de las válvulas: sección disponible creada por la apertura de la válvula
- Cilindrada total: es la multiplicación de la cilindrada unitaria por el número de cilindros. Este es el parámetro más representativo del tamaño del motor.
- Número de ciclos por revolución: en un motor de 4T es de $\frac{1}{2}$ ya que se necesitan dos revoluciones por ciclo a diferencia del motor de 2T que es de 1.
- Longitud y diámetro de colectores: los colectores son uno de los elementos más importante para el proceso de renovación de la carga, siendo la longitud de estos una variable en el diseño.

3.4. Parámetros de funcionamiento

- Régimen y velocidad media del pistón: Índice que establece el aprovechamiento del motor.
- Grado de carga: factor que evalúa cuanto está dando el motor en comparación a su máximo.
- Gasto de aire y rendimiento volumétrico: el gasto de aire es el caudal másico de entrada por unidad de tiempo y el rendimiento volumétrico es el cociente entre el gasto real y el de referencia.
- Gasto de combustible y poder calorífico: la cantidad de masa de combustible por unidad de tiempo es el gasto y este sirve para obtener la cantidad de energía liberada multiplicándolo por el poder calorífico.
- Dosado: es el cociente entre la masa de combustible y la de aire que ingresa al motor. Cuando la combustión es perfecta el dosado es químicamente correcto, es decir, estequiométrico. Dividiendo por este último se obtiene el dosado relativo, nos da la información sobre la mezcla siendo rica mayor que 1, estequiométrica 1 o pobre menor que 1.

3.5. Elementos constructivos de un Motor de Encendido Provocado

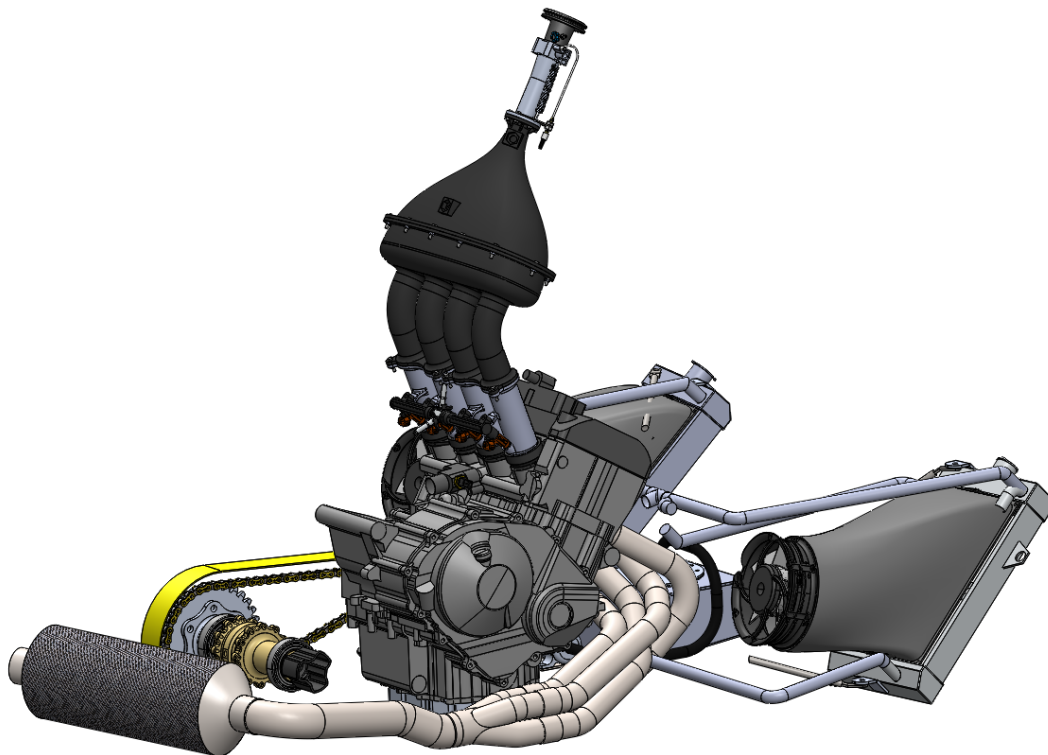
En este apartado se mostrarán diferentes elementos constructivos de un motor de combustión interna alternativo, se analizarán los elementos de un MEP ya que es el tipo de motor que se estudia en este trabajo.

Para aportar al motor la rigidez necesaria para poder trabajar de una manera estable, se tienen los sistemas estructurales que soportan vibraciones, esfuerzos y temperaturas. Los sistemas estructurales están formados por:

- Sistema de soporte
- Mecanismo alternativo

- Sistema de distribución
- Los sistemas auxiliares garantizan el funcionamiento del motor en condiciones óptimas. Se encuentran:
- Sistema de lubricación
- Sistema de refrigeración
- Sistema de alimentación de combustible
- Sistema de renovación de la carga
- Sistema de encendido

Figura 7. Unidad de potencia del M23RT



Nota. Imagen extraída del modelo virtual del vehículo de competición de Formula Student Málaga, M23RT. Imagen cedida por Málaga Racing Team.

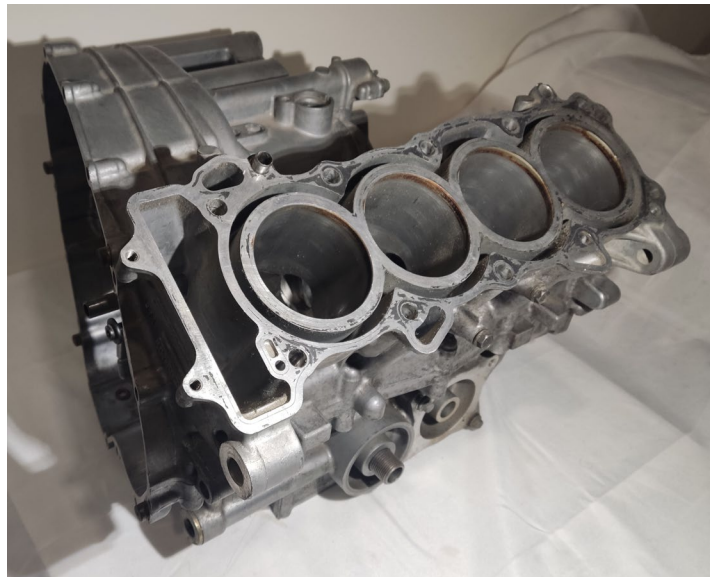
3.5.1. Sistemas estructurales y de soporte

El sistema de soporte se encarga de sostener los mecanismos que forman el motor soportando sus cargas estáticas y dinámicas generadas bajo su funcionamiento. Está compuesto de tres partes: el bloque motor, la bancada y la culata.

- Bloque Motor

El bloque motor es esencial en la estructura del motor por su peso, coste y tamaño. De este elemento depende la fiabilidad, comportamiento y durabilidad del motor. Normalmente el bloque está formado por los cilindros, la bancada y el propio bloque.

Figura 8. Conjunto bloque superior e inferior del motor real



Nota. La imagen muestra las camisas de los cilindros del motor PC40. Imagen capturada del motor cedido por MART. Elaboración propia.

La refrigeración es necesaria para conseguir un correcto funcionamiento y durabilidad de las piezas del motor. En los cilindros el refrigerante debe circular hacia arriba, desde la zona con más baja temperatura hacia la zona con más altas temperaturas. Al diseñar los conductos, es necesario que las superficies sean lisas para mejorar el paso del agua.

El material es un aspecto muy importante en la refrigeración, en este motor se trata de una aleación de aluminio por lo que se debe cubrir el 40% de los cilindros con conductos para el paso de refrigerante, en el caso que fuera un bloque de fundición se debería cubrir alrededor del 95% de la longitud del cilindro. La mayor ventaja que tiene

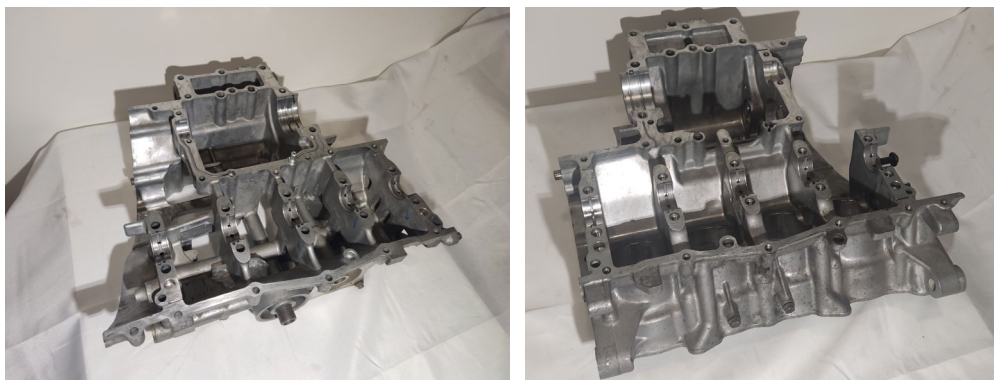
el aluminio frente a la fundición es su alta conductividad térmica y su reducido peso, reduciendo así el tamaño de las camisas mejorando tanto el peso como la efectividad térmica.

En el bloque superior se encuentran los cilindros, estos cilindros pueden ser de dos tipos:

- Cilindros sin camisa: el cilindro se mecaniza directamente en el bloque, por lo tanto, el propio bloque actúa de cilindro. Su principal ventaja es el coste de fabricación, pero se compensa con la utilización de materiales con buenas características antifricción, para ello se recubren normalmente con níquel por dispersión. El mayor problema que tienen estos tipos de cilindros es en el caso de avería habría que sustituir el bloque, aunque si la avería es leve se podría rectificar un número limitado de veces.
- Cilindros con camisa: en este caso se introduce una pieza intermedia entre el pistón y el bloque, la camisa. Este tipo tiene un coste mayor, pero en caso de avería se podría sustituir solamente la camisa.
- Bancada

La bancada es el componente estructural que soporta el cigüeñal. Debe tener una buena rigidez para garantizar el buen funcionamiento del motor, soportando las cargas generadas durante el funcionamiento.

Figura 9. Bancada superior e inferior del motor real



Nota. Imagen capturada del motor cedido por MART. Elaboración propia.

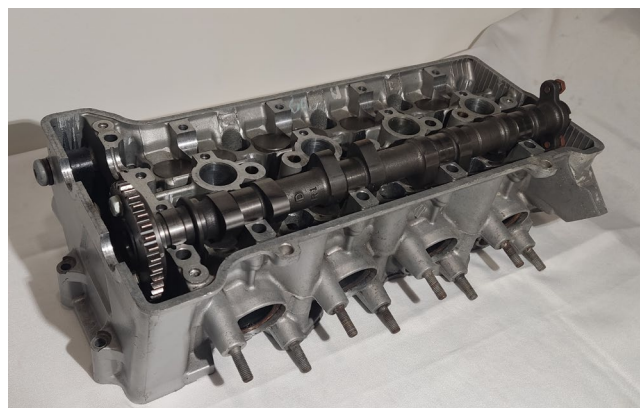
Las distintas configuraciones de bancada son:

- La bancada y los cilindros forman un bloque común
- Los cilindros quedan separados entre sí, unidos a la bancada y al bloque mediante tornillos
- Soluciones intermedias
- Las uniones más comunes entre cigüeñal y bancada son:
 - Cigüeñal suspendido: se soporta mediante sombreretes en cada punto de apoyo.
 - Cigüeñal apoyado: se soporta sobre el cárter, con puntos de apoyos simétricos a la bancada.
- Culata

La culata es uno de los elementos del motor más complejos de diseñar debido a la cantidad de funciones y exigencias que debe cumplir, ya que tiene que alojar una gran cantidad de componentes que se indicaran a lo largo de este trabajo.

Lo normal en motores MEP de motocicletas es diseñar una culata en aleación de aluminio y que esta tendrá una gran conductividad térmica que mejora la refrigeración.

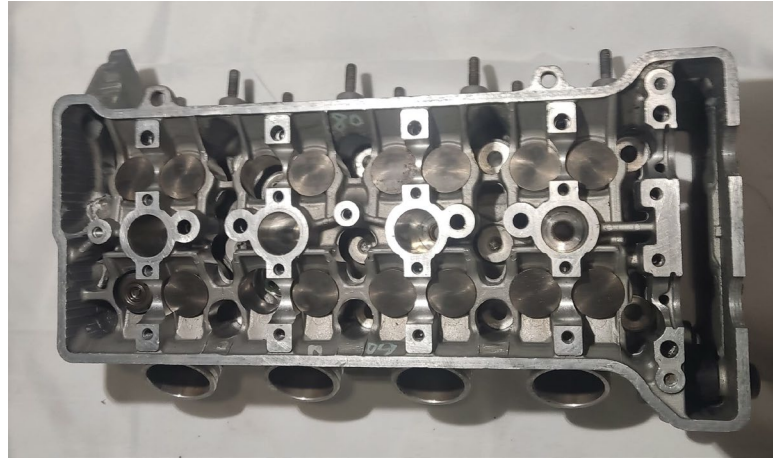
Figura 10. Culata del motor real



Nota. Imagen capturada del motor cedido por MART. Elaboración propia.

Normalmente se usan configuraciones de 4 válvulas por cilindro, aunque también se pueden encontrar alternativas con 2 válvulas o 8 válvulas, estos últimos son motores algo más complejos y caros de fabricar y por lo tanto más raros de encontrar. Siempre serán las válvulas de admisión de un diámetro mayor que las de escape.

Figura 11. Configuración cuatro válvulas por cilindro del motor real



Nota. Imagen capturada del motor cedido por MART. Elaboración propia.

En esta figura se muestran las cavidades y alojamientos que tiene el motor en cuestión, se pueden ver 16 válvulas para 4 cilindros y bancadas para dos árboles de levas, el superior sería el de admisión y el inferior sería el de escape. En la parte izquierda se encontraría el alojamiento para la distribución.

- Junta de culata

La junta de culata es una pieza encargada de mantener estanca la unión entre el bloque y la culata para que no se pierda presión proveniente de la combustión, además también contribuye a la transmisión de esfuerzos y deformaciones entre las dos piezas por lo tanto tiene que ser flexible y absorber las irregularidades de ambas superficies.

Los tipos de estructura más comunes son los siguientes:

- Malla o lámina de metal revestida de elastómero de cartón grafitado.
- Láminas de metal con nervios deformables.
- Lámina de metal con elastómero de silicona.

5.5.2 Mecanismo pistón-biela-manivela

Este mecanismo se encarga de transformar la energía de los gases en movimiento lineal del pistón para generar un movimiento rotativo del cigüeñal gracias a un mecanismo biela manivela.

- Pistón

El grupo pistón es un conjunto de elementos que describe un movimiento lineal alternativo durante el ciclo de trabajo recibiendo distintas cargas en regímenes diferentes. Se compone de pistón, segmentos y bulón.

Figura 12. Conjunto biela-pistón-segmentos del motor real



Nota. Imagen capturada del motor cedido por MART. Elaboración propia.

Las funciones principales que tiene el grupo pistón son las de transferir al cigüeñal la energía generada por los gases, ser estanco y tener una transmisión de calor buena hacia las paredes del cilindro. Un motor MEP similar al de este trabajo tiene unas presiones máximas de alrededor de 100 bar, altas cargas, temperaturas que rondan los 1300K sin estar distribuidas uniformemente y una lubricación muy exigente en los segmentos. Todas estas condiciones de trabajo hacen que los pistones requieran una elevada resistencia tanto como a cargas estáticas y dinámicas como a altas temperaturas, todo esto teniendo la menor masa posible.

Respecto a los segmentos, empezando por sus ranuras, es necesario mecanizar en el pistón sus alojamientos. La cantidad de segmentos irá en función del tipo de motor, por norma en los motores MEP de 4T, se encuentran 3 segmentos, dos de estanqueidad o compresión y un rascador de aceite. En los motores MEP de 2T no disponen de segmento rascador de aceite.

La falda del pistón sirve para guiar al pistón en su movimiento lineal en el cilindro y repartir las fuerzas normales debido a la oblicuidad de la biela. El juego entre la falda y el cilindro debe ser el mínimo posible para que el pistón no cabecee golpeando el cilindro con la posibilidad de crear alguna avería.

- Biela

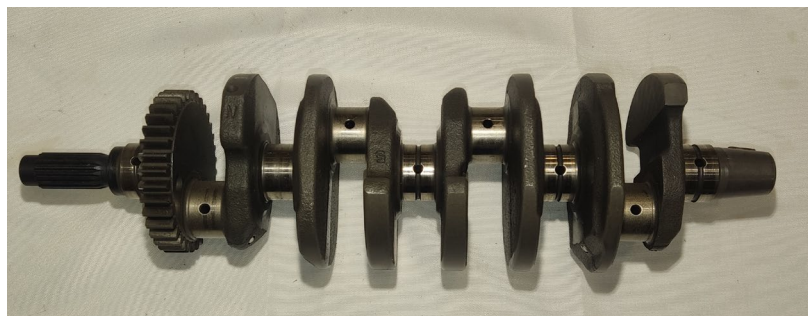
La biela se encarga de transmitir la energía creada por los gases de la combustión al cigüeñal. La biela está sometida a un gran esfuerzo mecánicos que debe soportar, por lo tanto, debe tener una mucha rigidez, pero también su peso debe ser reducido para evitar grandes fuerzas de inercia.

La biela se compone en pie, cuerpo y cabeza de biela.

- Cigüeñal

Es el elemento que recibe el movimiento lineal transformándolo en rotativo, siendo uno de los más importantes del motor. Respecto al material es usual encontrar acero forjado en los motores MEC y en los MEP es más común usar cigüeñales fundidos. Las ventajas de los cigüeñales fundidos, entre otras cosas, es su precio, un mejor acabado y la capacidad de ser fabricados con huecos para reducir su peso, por el contrario, los cigüeñales forjados cuentan con un mayor módulo de Young y por tanto son más rígidos, estas características evitan el desgaste de los rodamientos y tienen una mayor dureza.

Figura 13. Cigüeñal del motor real



Nota. En la imagen se muestra el cigüeñal de fundición del motor PC40. Imagen capturada del motor cedido por MART. Elaboración propia.

- Sistema de distribución

El mecanismo de distribución se encarga de la apertura y cierre de las válvulas del motor. Este mecanismo es uno de los encargados en la renovación de la carga ya que sincroniza el momento óptimo de apertura y cierre de las válvulas con el movimiento del pistón.

Figura 14. Elementos de la distribución del motor real



Nota. La imagen muestra el árbol de levas, la cadena de distribución, el piñón del cigüeñal y el tensor de la cadena.

Imagen capturada del motor cedido por MART. Elaboración propia.

Dependiendo de la posición y el número de árboles de levas tenemos diferentes tipos de distribución.

- OHV: el árbol de levas se posiciona en el bloque y los balancines se mueven con varillas que serán empujadas a su vez por las levas.

- OHC: el árbol de levas se posiciona en la culata y las levas son las que accionan los taqués.
- DOHC: misma posición que OHC, pero tiene un árbol de levas para la admisión y otro para el escape.

- Árboles de levas

Los árboles de levas son los encargados de accionar la apertura o cierre de las válvulas. Normalmente son de fundición y es usual encontrarlo de una sola pieza el árbol y sus levas posteriormente mecanizarlo con la forma exacta. El árbol de levas gira de una forma sincronizada con el cigüeñal mediante un mecanismo de transmisión, como cadenas, correas o engranajes, conformando el sistema de distribución.

4. Antecedentes Históricos de Honda y las superdeportivas de media cilindrada

En este apartado comenzaremos con una descripción cronológica de la empresa Honda, desde su creación hasta la actualidad. Para ello, recorreremos los primeros pasos a nivel empresarial y sus primeras motocicletas más características.

La empresa Honda, a lo largo de su historia, ha diseñado y comercializado más de trescientos modelos distintos de motos.

Nos centraremos en los modelos más icónicos, sobre todo, en la gama CB que fue la precursora de las superdeportivas tal y como las conocemos hoy en día y la que presenta el motor referencia al presente trabajo.

En 1906, nace Soichiro Honda, en el seno de una humilde familia en una pequeña aldea próxima al Monte Fuji. Su padre herrero y propietario de un taller de reparación de bicicletas le traspasó a Soichiro su gran fascinación por las máquinas y ayuda a su padre a reparar bicicletas.

Figura 15. Exterior de la fábrica de Hamamatsu en 1948



Nota. Algunos de los primeros empleados de Honda junto a sus familias en el exterior de la fábrica de Hamamatsu en 1948. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia> ("La Historia de Honda | Vida de Soichiro Honda | Honda ES")

A la edad de 15 años se traslada a Tokio, donde trabaja como aprendiz de mecánico en la automovilística Hart Shokai. Seis años después, regresa a su pueblo natal convertido en mecánico experto y como jefe de una sucursal de dicha compañía.

Sin embargo, enseguida quiso independizarse y emprendió su camino laboral y empresarial.

En 1937, funda Tokai Seiki para fabricar anillos de pistón para Toyota. Sin embargo, recibe dos grandes golpes consecutivos: un bombardero americano y un terremoto en 1945.

Después de la segunda guerra mundial, Honda vendió los restos de la compañía a Toyota y usó las ganancias para fundar la Honda Technical Research Institute (el Instituto Honda para la Investigación Técnica) en un momento en el que Japón necesitaba movilidad rápida y barata.

De este modo, se le ocurre la idea de montar en bicicletas motores que tenía en excedentes, creando, en 1946, la primera Honda. Como motor se utilizó un generador de un transmisor de radio militar adaptado. Fue un éxito de ventas instantáneo.

Figura 16. La primera Honda



Nota. La primera Honda Original. Imagen extraída de <https://www.honda.es/cars/world-of-honda/past/the-power-of-dreams.html>

Gracias a la información extraída de Honda España, (Honda Motor Europe Limited Sucursal en España, s/f), se realiza la comparativa de componentes y potencia de cada uno de los modelos más representativos de la historia de la Marca.

1947. Honda A-Type

Motor: 2 Tiempos, 1 cilindro

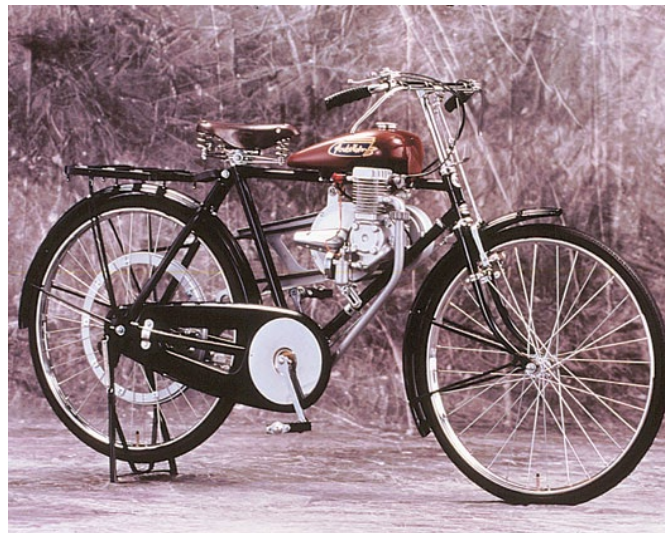
Refrigeración por aire.

Cilindrada: 50 cc

Potencia máx.: 1 Cv

El siguiente objetivo de Soichiro Honda, era dar respuesta a toda la demanda existente, sin los excedentes de los motores de la antigua fábrica, para ello, mejora la bicicleta motorizada y el motor diseñado por Honda se fabrica en su primera cadena de montaje.

Figura 17. Honda A-Type



Nota. Imagen extraída de <https://global.honda/heritage/episodes/1947atype.html>

En 1948, se asocia a Takeo Fujisawa y funda la Honda Motor Company. En esta compañía, Soichiro se encargará del desarrollo de productos y Fujisawa aportará el talento empresarial.

En 1948, y tras ser ya conocida como Honda Motor Company, se desarrollaba la **Honda B-Type**. "Se trataba de un triciclo pensado para transportar mercancías, siendo el chasis construido por fabricantes externos, mientras que el motor era de nuevo

desarrollo de la propia Honda." ("Moto del día: Honda Dream D-Type - espíritu RACER moto") Este modelo cubicaba 89 cc, aunque el conjunto demostró ser inestable y no salió a la venta.

Tanto la A-Type como la B y la C tenían un denominador común, y es que se les considera bicicletas con motor adaptado.

Para la **Honda C-Type** de 1949 los japoneses diseñaron su propio chasis, aunque era fabricado por terceros. Mantenía los pedales y la transmisión era por correa. El motor ya cubicaba 96 cc y era capaz de dar 3 CV de potencia.

● 1949. Honda Dream D-Type

Motor: 2 Tiempos, 1 Cilindro.

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 98 cc

Potencia máx.: 2,5 kW a 4.500 rpm.

Cambio: 2 velocidades

Aunque Honda llevaba fabricando vehículos desde 1946, en su fundación, la empresa nipona reconoce como su primera motocicleta la Honda Dream D-Type ya que fue la primera motocicleta completamente desarrollada y diseñada por Honda.

Figura 18. La primera Honda



Nota. Imagen extraída de <https://motos.espirituracer.com/motodeldia/moto-del-dia-honda-dream-d-type/>

Cuenta de un chasis inspirado en el que utilizaba BMW, creado en acero fabricado mediante estampación con mayor durabilidad que los chasis tubulares.

Los frenos eran de tambor, contaba con una pequeña caja de herramientas bajo el asiento. No contaba con pedales y tenía tanto iluminación delantera como trasera.

Se trata de la primera Honda movida por cadena y motorizada por un motor de dos tiempos.

● 1951. Honda Dream E

Motor: 4 Tiempos, 1 cilindro OHV (OverHead Valves / Válvulas en culata).

Cilindrada: 146 cc

Potencia máx.: 3,97 kW a 5.000 rpm.

Cambio: 2 velocidades

Figura 19. Honda Dream E



Nota. Imagen extraída de
<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

● 1952. Honda Type-F Cub

Motor: 2 Tiempos, 1 cilindro.

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 50 cc

Potencia máx.: 0,74 kW a 3.600 rpm

Cambio: embrague baño de aceite

Figura 20. Honda Type-F Cub



Nota. Imagen extraída de
<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

● 1953. Hondad Model J Benly

Motor: 4 Tiempos, 1 cilindro, OHV.

Refrigeración: por aire.

Cilindrada: 90 cc.

Potencia máx.: 2,83 kW a 6.500 rpm

Cambio: 3 velocidades

Figura 21. Honda Model J Benly



Nota. Imagen extraída de
<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1954. Honda Juno K

Motor: 4 Tiempos 1 cilindro OHV

Refrigeración forzada por aire.

Cilindrada: 189 cc.

Potencia máx.: 4.71 kW a 4.800 rpm

Cambio: 3 velocidades

Figura 22. Honda Juno K



Nota. Imagen extraída de
<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1955. Honda 250SA Dream

Motor: 4 Tiempos, 1 cilindro OHC (OverHead Camshaft / Árbol de levas en culata).

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 246 cc

Potencia máx.: 7,65 kW a 5.000 rpm

Cambio: 4 velocidades

Figura 23. Honda 250SA Dream



Nota. Imagen extraída de
<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1956. Honda JC57 Benly

Motor: 4 Tiempos, 1 Cilindro

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 125 cc

Potencia máx.: 5,07 kW a 6.500 rpm

Cambio: 4 velocidades

Figura 24. Honda JC57 Benly



Nota. Imagen extraída de
<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1957. Honda C70 Dream

Motor: 4 Tiempos, 2 Cilindros OHC

Refrigeración por aire

Cilindrada: 247 cc

Potencia máx.: 13,02 kW a 7400 rpm

Cambio: 3 velocidades

Figura 25. Honda C70 Dream



Nota. Imagen extraída de
<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

En estos años, Honda se convierte en el mayor fabricante de motocicletas en Japón. Se conciben los principios que aún perduran en Honda.

● 1958. Honda C100 Super Cub

Motor: 4 Tiempos, 1 cilindro OHV

Refrigeración por aire

Cilindrada: 49 cc

Potencia máx.: 3,16 kW a 9.500 rpm

Cambio: 3 velocidades

La Honda Super Cub apareció en el mercado como una motocicleta sencilla y asequible para todo el mundo. Se convirtió en un medio de transporte asequible para las masas ha sido hasta el día de hoy la motocicleta más vendida del mundo, superando cualquier vehículo de transporte motorizado jamás construido (Honda Motor Europe Limited Sucursal en España, s/f).

Figura 26. Honda Super Cub



Nota. Imagen extraída de

<https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

A partir de 1959, la empresa inicia su camino en el Mercado Estadounidense, fundando la American Honda Motor Co. Inc. en la ciudad de Los Ángeles.

El mismo año en el que Honda lanza el primer modelo deportivo al que se le dio el nombre de CB.

● 1959. Honda CB92 Benly Super Sport

Motor: 4 Tiempos, 1 cilindro, OHC

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 124 cc

Potencia máx.: 8.46 kW a 9.500 rpm

Cambio: 4 velocidades

Equipado con un sistema de encendido electrónico inusual para una motocicleta.

Figura 27. Honda CB92 Benly Super Sport



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

● 1961. Honda CB 72

Motor: 4 Tiempos, 2 cilindros, OHC

Refrigeración por aire

Cilindrada: 247 cc

Potencia máx.: 17,65 kW a 9000 rpm

Cambio: 4 velocidades

● 1961. Honda CB 72

Motor: 4 Tiempos, 2 cilindros, OHC

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 247 cc

Potencia máx.: 17,65 kW a 9000 rpm

Cambio: 4 velocidades

● 1964 Honda CB125 Benly

Motor: 4 Tiempos, 2 cilindros OHC

Refrigeración por aire

Cilindrada: 125 cc.

Potencia máx.: 11,03 kW a 10.500 rpm

Cambio: 4 velocidades

● 1965. Honda Dream CB450

Motor: 4 Tiempos, 2 cilindros en paralelo DOHC

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 444 cc.

Potencia máx.: 31,63 kW a 8.500 rpm

Cambio: 4 velocidades

Caracterizado por un tipo inusual de muelles de válvula, no en espiral sino en forma de barra de torsión, activados por ser trenzados a lo largo de su longitud.

El modelo era capaz de alcanzar los 140 Km/h.

Figura 28. Honda Dream CB450



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1969. CB750 Honda Dream Four

Motor: 4 Tiempos, 4 cilindros en línea OHC Refrigeración por aire.

Cilindrada: 736 cc Potencia máx.: 49,28 kW a 8.000 rpm

Cambio: 5 velocidades

Honda difundió y popularizó la configuración de motocicletas con motor transversal de 4 cilindros DOHC no solo para el uso de carreras con la CB750 y, consecuentemente, se convirtió en la disposición dominante para motocicletas deportivas y de carreras.

De este modo, el modelo logró la fama y popularizó el mercado japonés en todo el mundo.

La CB750 Dream Four dio paso a la era de las grandes motos multi-cilíndricas, así como fue la primera motocicleta de producción en masa con freno de disco y arranque eléctrico.

Figura 29. Honda CB750 Dream Four



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1975. CB750 Dream Four 2

Motor: 4 Tiempos, 4 cilindros en línea DOHC con 16 válvulas

Refrigeración por aire.

Cilindrada: 748 cc

Potencia máx.: 50,01 kW a 9.000 rpm

Cambio: 5 velocidades

Esta motocicleta súper deportiva logró el incremento de la popularidad de la familia CB, alcanzando los 784 cc., consiguiendo una línea sofisticada pero robusta con el cuadro de instrumentos de estilo avión de combate.

Figura 30. Honda CB750 Dream Four 2



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1987. CBR 250 R

Motor: 4 Tiempos, 4 cilindros en línea DOHC con 16 válvulas

Refrigeración líquida

Cilindrada: 250 cc

Potencia máx.: 33,5 kW a 14.000 rpm

Cambio: 6 velocidades

La Honda CBR 250R y RR es una saga de motocicletas que se originó entre 1986 y 1999. Consigue alcanzar los 180/190 km/h. Inicialmente fueron vendidas en Japón y posteriormente exportado a Australia. Fue la primera CBR de la historia y alcanzaba 18500rpm.

Figura 31. Honda CBR 250 R



Nota. Imagen extraída de <http://solosonmotos.blogspot.com/2012/12/honda-cbr-250-r.html>

● 1987. CBR 600 F

Motor: 4 Tiempos, 4 cilindros en línea DOHC con 16 válvulas

Refrigeración líquida

Cilindrada: 600 cc

Potencia máx.: 63,4 kW a 11.000 rpm

Cambio: 6 velocidades

La primera CBR600F, denominada PC19 y creada en 1987, supuso un hito en la categoría de las súper deportivas. Fue la primera honda CBR en contar con motor tetracilindrico DOHC de 600cc. Este motor estaba montado sobre un chasis de tipo diamante hecho de acero, contaba con carburadores de 32mm pesando el conjunto completo con todos los líquidos 201kg. Estéticamente, consta de un carenado aerodinámico y unas líneas deportivas.

Este modelo fue el primero de una saga que acabó en 2018, con la última CBR600F, que contaba con el motor PC40, objeto de estudio de este proyecto.

Figura 32. Honda CBR 600 F



Nota. Imagen extraída de <https://solomoto.es/historia-honda-cbr600f/>

1993. CBR900R Fireblade

Motor: 4 Tiempos, 4 válvulas DOHC, 4 cilindros en línea. Refrigeración líquida

Cilindrada: 893 cc Potencia máx.: 91,2 kW a 10.500 min

Cambio: 6 velocidades

La CBR900RR Fireblade, fue un modelo que revolucionó y reescribió en su totalidad el diseño de las súper deportivas adquiriendo una remarcable configuración compacta y ligera.

Figura 33. Honda CBR 900R Fireblade



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>

1996. CBR 1100 XX Super Blackbird

Motor: 4 Tiempos, DOHC (Doble árbol de levas en culata.)16 válvulas, 4 cilindros en línea.

Refrigeración líquida Cilindrada:1.137 cc

Potencia máx.: 112 kW a 9.500 min-1 Cambio: 6 velocidades

Un icono supremo de las súper deportivas, una remarcable máquina de altas prestaciones que juntó las tecnologías innovadoras de Honda en un elegante diseño y potente motor que proyectaba una irrevocable imagen de velocidad y prestaciones.

Figura 34. Honda CBR1100XX Super Blackbird



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>)

2002. CBR900RR

Motor: 4 Tiempos, DOHC en línea 4 Refrigeración líquida.

Cilindrada:954 cc Potencia máx.: 114,84 kW a 10.500 rpm

Cambio: 6 velocidades, engrane constante

La sexta edición de la Fireblade presentó un aumento en la cilindrada, una disminución de peso y mayor manejabilidad. Redefinida estéticamente para aportarle mayor agresividad, aportándole un estilo más anguloso y un sub-chasis más esbelto, características que le aportan una apariencia más ligera y deportiva.

Figura 35. Honda CBR900RR



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>)

2003. Honda CBR600RR- PC37

Motor: 4 Tiempos, 16 válvulas DOHC, 4cilindradas en línea.

Refrigeración líquida.

Cilindrada: 599 cc

Potencia máx.: 86 kW a 13.000 min

Cambio: 6 velocidades

Usando todos los avances tecnológicos desarrollados en los circuitos, la CBR600RR se creó a partir de la RC211V, diseñada para el Campeonato del Mundo de Velocidad. Usaba un motor completamente nuevo y fue la base para la creación del modelo de 2007 en el que se basa este proyecto.

Figura 36. CBR600RR PC37



Nota. Imagen extraída de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>)

2007. CBR600RR- PC40

Motor: 4 Tiempos, 16 válvulas DOHC, 4cilindradas en línea.

Refrigeración líquida.

Cilindrada: 599 cc

Potencia máx.: 86 kW a 13.000 min

Cambio: 6 velocidades

Es la moto objeto de estudio, venía a sustituir a su modelo anterior (PC37) sin grandes cambios, pero si importantes ya que incorporo una suspensión delantera invertida, aligero bastante el peso y sobre todo lo más importante fue el nuevo propulsor que si bien en números no fue un cambio significativo si fue una revolución para estar a la altura de sus competidores de la época.

Figura 37. CBR600RR PC40

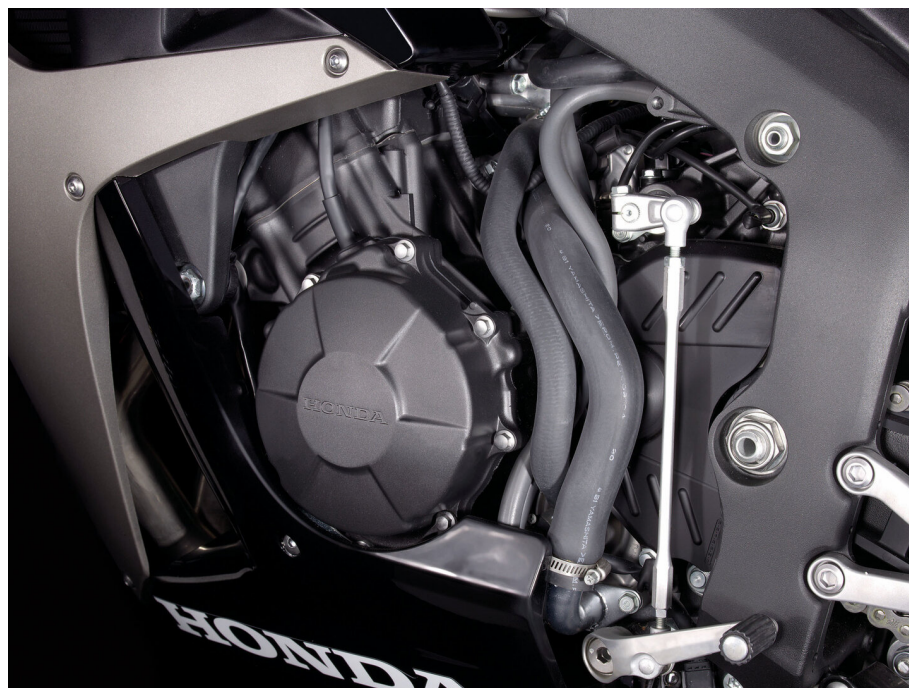


Nota. Imagen extraída de <https://www.motorpasionmoto.com/deportivas/nueva-honda-cbr-600-rr-2012-solo-cambios-en-la-gama-de-colores>

El motor era un desarrollo nuevo respecto al modelo precedente, aunque es cierto que mantenía el diámetro/carrera de 67×42,5 mm invariable. También permanecía invariable la arquitectura general del mismo, que consistía como ya era tradición en la gama CBR en un propulsor de cuatro cilindros en línea (DOHC), con cuatro válvulas por cilindro, refrigeración líquida e inyección de combustible en dos etapas PGM-DSFi, que pasaba a equipar inyectores de 12 orificios.

Había cambios sustanciales como para hablar de un nuevo propulsor, ya que para empezar pesaba 2,1 kg menos que el de la anterior versión y además era mucho más compacto. Los componentes internos como bielas y cigüeñal ahora eran mucho más ligeros, así como el embrague y caja de cambios -de relaciones más cerradas- que fueron remodelados totalmente, reforzándolos internamente y haciéndolos también más compactos y ligeros, y mejorando incluso un tacto que ya era muy bueno en la versión previa.

Figura 38. Motor CBR600RR PC40



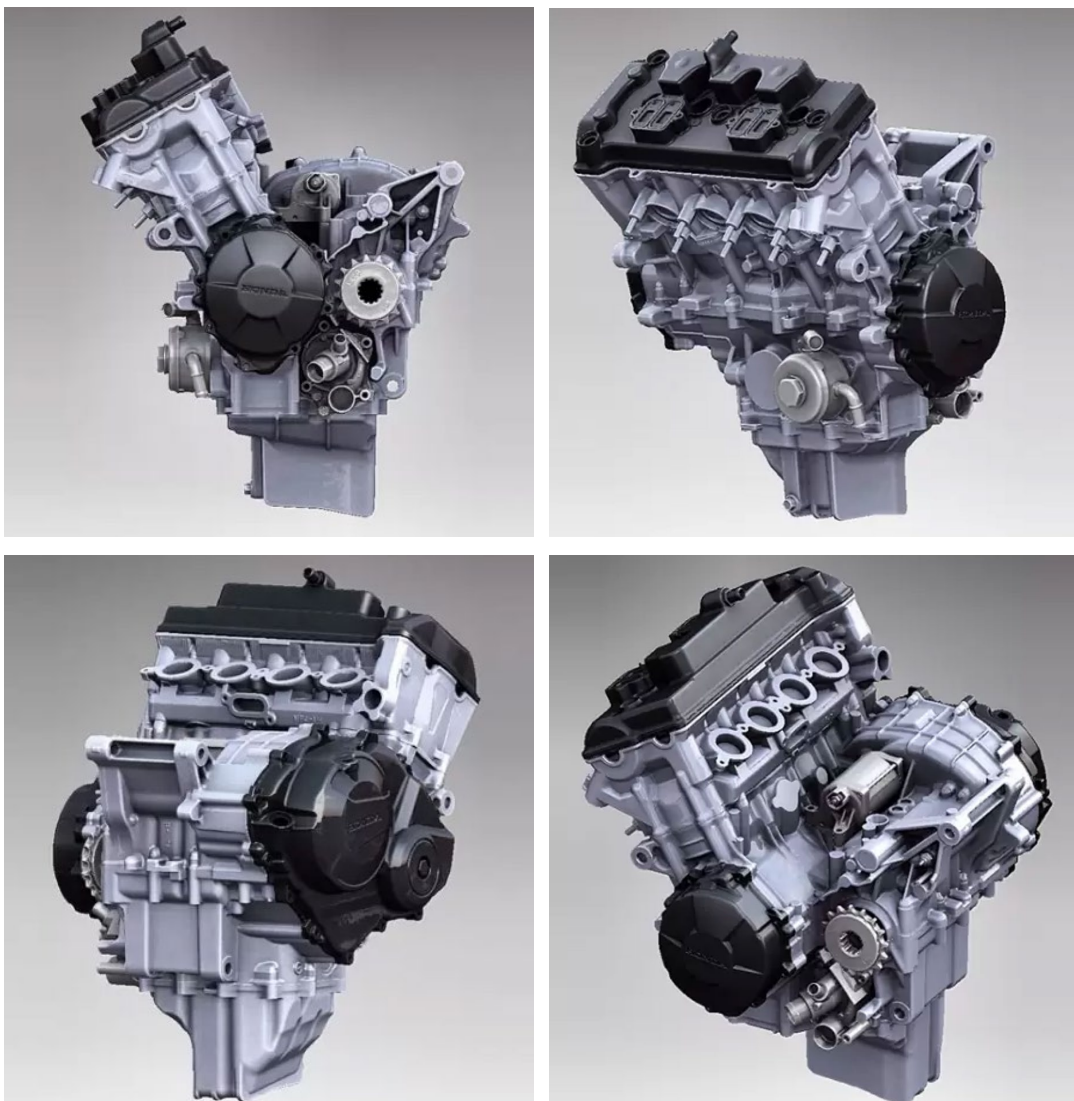
Nota. Imagen extraída de <https://motos.espirituracer.com/tag/honda-cbr-600-rr/>

El sistema de refrigeración también sufrió cambios sustanciales, ya que la nueva CBR 600 RR (PC40) contaba con un radiador más estrecho, pero a su vez más alto, para no perder capacidad de refrigeración sin sobresalir por los lados del motor.

En el escape, sin embargo, se realizó la operación contraria, ya que el silenciador ahora pasaba a ser más ancho y corto para conseguir un centrado de masas mejor y que a su vez perdía 500 gramos de peso respecto al anterior.

Con todos estos aditamentos se conseguía una potencia de 120 CV a 13.500 RPM y 66 Nm de par a 11.250 RPM, un incremento que no parecía demasiado sustancial si solo observamos los datos, pero que lo hacían estar más lleno a bajo y sobre todo a medio régimen que el motor anterior, siendo más agradable tanto en uso en carretera como si tenemos que rodar con ella dentro de población. Aunque no debemos llevarnos a equívocos, ya que es un propulsor de carrera corta que entrega lo mejor de sí por encima de 8.000-9.000 RPM.

Figura 39. Modelo renderizado del motor CBR600RR PC40



Nota. Imágenes extraídas de <https://www.rkmotosarg.com/?lightbox=dataItem-jr2jfy1q>

● Actualmente. Honda CBR650R

Motor: 4 Tiempos, 16 válvulas DOHC, 4cilindradas en línea.

Refrigeración líquida.

Cilindrada: 599 cc

Potencia máx.: 70 kW a 12.000 min

Cambio: 6 velocidades

Hoy en día debido a la normativa Euro 5 y al demandado carnet A2, Honda se centra en un mercado más derivado a moto fáciles de conducir, con muchas mejoras electrónicas que las hacen mejores en bajas vueltas, más dóciles y respetuosas con el medio ambiente.

Esto hace que la última superdeportiva de media cilindrada sea considerada la CBR600RR del 2007 al 2010 con sus 120 CV comparados a los 95CV de la CBR650R ya que esta debe poder limitarse para poder usarse con el carnet A2.

Figura 40. Honda CBR650R



Nota. Imagen extraída de <https://thedoctormotos.es/product/honda-cbr-650r-2022/>

5. Software utilizado. Utilización de SolidWorks

El Software utilizado para la realización del gemelo virtual presentado en este trabajo es SolidWorks-Student Edition, proporcionado por la Escuela de Ingeniería industriales para el uso exclusivo académico.

SolidWorks se trata de un software de diseño asistido por ordenador, mayormente conocido por las siglas CAD (Computer-Aided Design). Desarrollado actualmente por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, para el sistema operativo Microsoft Windows.

Figura 41. Imagen corporativa de SolidWorks



Nota. Imagen extraída de <https://www.solidworks.com/es>

Es una herramienta de diseño de moldeado de objetos físicos que sirve como ayuda para la creación, modificación, análisis y optimización de piezas y ensamblajes bidimensionales y tridimensionales de estos.

“SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto.” (SOLIDWORKS - Qué es y para qué sirve, 2018)

SolidWorks brinda muchos recursos para dar respuesta al desarrollo del producto gracias a su potente software y a la cantidad de complementos y funciones que posee. Otorga la opción de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

5.1. Elección de la herramienta. (por qué SolidWorks)

Existen una gran variedad de softwares de diseño asistido por ordenador que ofrecen soluciones similares como son AutoCAD Inventor o Solid Edge, entre otras. Sin embargo, se ha elegido utilizar SolidWorks por las siguientes razones.

- **Diseño tridimensional eficiente**

Es un software de modelado paramétrico, basado en operaciones y ensamblajes. Las formas y dimensiones son definidas a través de fórmulas y operaciones que se muestran en secuencia a través de un árbol de operaciones. Aunque parezca a simple vista complejo esta característica le otorga una ventaja, la edición de operaciones en secuencia, que facilita a la hora de realizar diseños, simulación, fabricación y producción.

Una de las características clave de los modelos paramétricos es que los atributos que están interconectados pueden cambiar automáticamente su característica cuando se cambia un atributo. Este proceso de modelado es ideal para proyectos con muchos requisitos de fabricación como el que se ha realizado en este trabajo.

- **Compatibilidad en el mercado**

Debido a la popularidad de SolidWorks a nivel mundial es muy probable que un cliente, proveedor, partner o competidor pueda acceder a estos modelos sin perder tiempo en traducir de un sistema a otro, evitando así posibles errores.

Como afirma 3Dnatives, en la actualidad se estima que hay alrededor de 9,3 millones de usuarios activos en 80 países.

En este caso este proyecto se ha orientado al uso didáctico para la Escuela de Ingenieros de Málaga y también para el equipo de Formula Student. En ambos casos, con acceso al software puesto a la licencia gratuita prestada a la Universidad de Málaga. Lo que nos adentra en la siguiente ventaja.

- **Trabajo colaborativo**

Es una herramienta que permite el trabajo colaborativo dado que se basa el proceso del diseño de la fabricación por piezas. Las capacidades de comunicación y transferencia operaciones ayudan a mantener la integridad de los objetos a medida que pasan por las distintas fases del proceso de diseño. Gracias a ello, se mejora la precisión, la eficacia, se reducen errores y se optimiza el trabajo.

Estas cualidades convierten a SolidWorks en uno de los softwares más utilizado en la competición Formula Student seguido por CATIA y especialmente utilizado para el Equipo de Formula Student Málaga (MART).

- **Cantidad y calidad de aplicaciones integradas**

SolidWorks es una herramienta muy productiva ya que tenemos un software CAD 3D que nos permite el modelado de piezas sólidas, chapas, mecanismos, pcbs, electricidad y representaciones visuales de estas muy diversas.

No debemos olvidar que además de modelar sólidos también se pueden importar, crear y manipular superficies, ver modelos en modo de estructura alámbrica y generar dibujos 2D a partir del modelo, la creación de planos, la comprobación de interferencias, la realización de imágenes, etc.

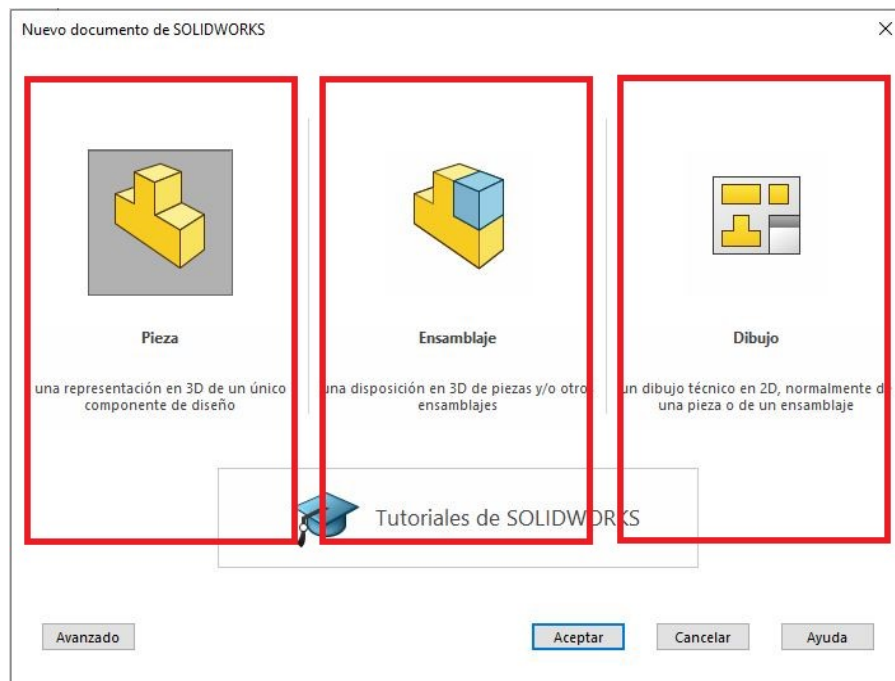
Y por supuesto, es una herramienta que nos permite añadir movimiento a las piezas y del mismo modo realizar videos mediante renderizado y simulaciones. Estas simulaciones pueden otorgarnos análisis estáticos mediante elementos finitos, análisis térmicos, análisis de fatiga, análisis de flujo y muchas más aplicaciones.

5.2. Muestra de la interfaz

Con el fin de una explicación intuitiva de la herramienta se mostrarán imágenes propias realizadas de la interfaz y una breve explicación básica de sus elementos.

El programa se puede dividir en tres grandes módulos que se presentan en el inicio de la creación de un nuevo documento. Estas partes son:

Figura 42. Imagen corporativa de Solid Works

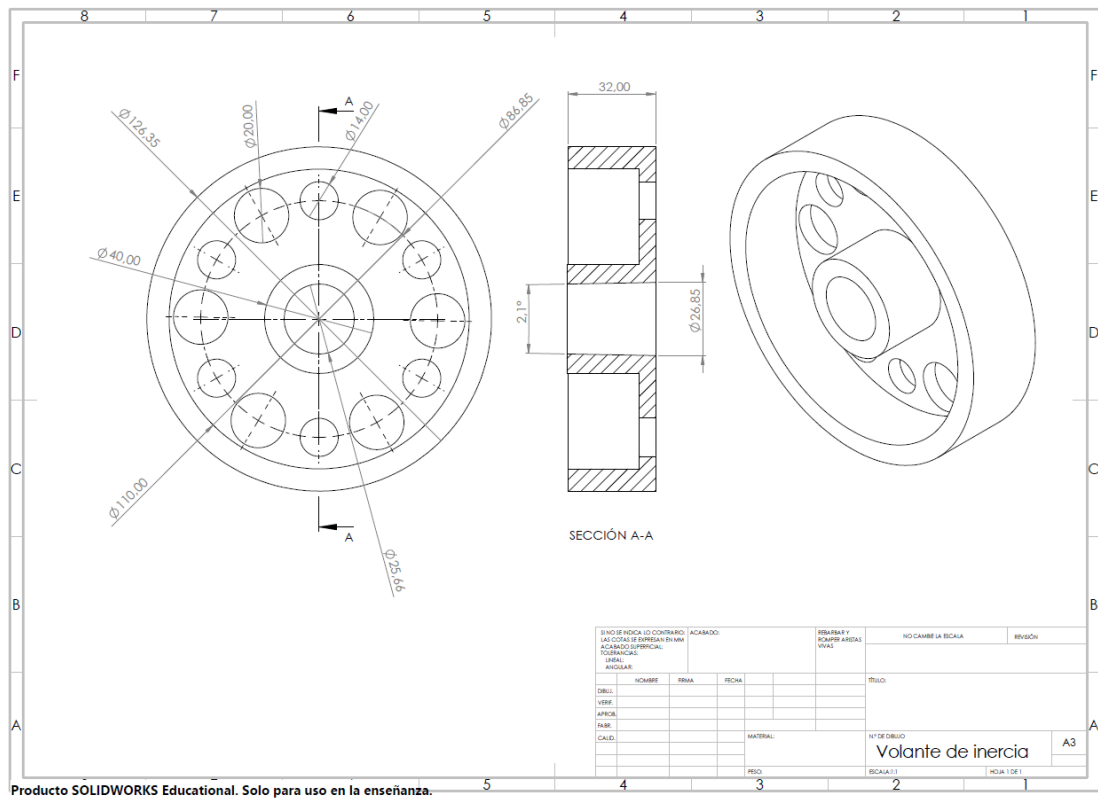


Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla y edición de imagen realizada por el autor.

- **Pieza.** Una representación tridimensional de un único componente de diseño. Destinada a la creación piezas individuales. Situado a la izquierda de la ventana emergente.
- **Ensamblaje.** Una disposición tridimensional de piezas y/o otros ensamblajes. Destinada al diseño de conjuntos situado en el centro de la ventana emergente.
- **Dibujo.** Un dibujo técnico bidimensional, de una pieza o de un ensamblaje. Destinado a la delineación de piezas y conjuntos en planos técnicos (vistas,

acotaciones, tolerancias geométricas, acabados superficiales, etc.), situado a la derecha de la ventana emergente.

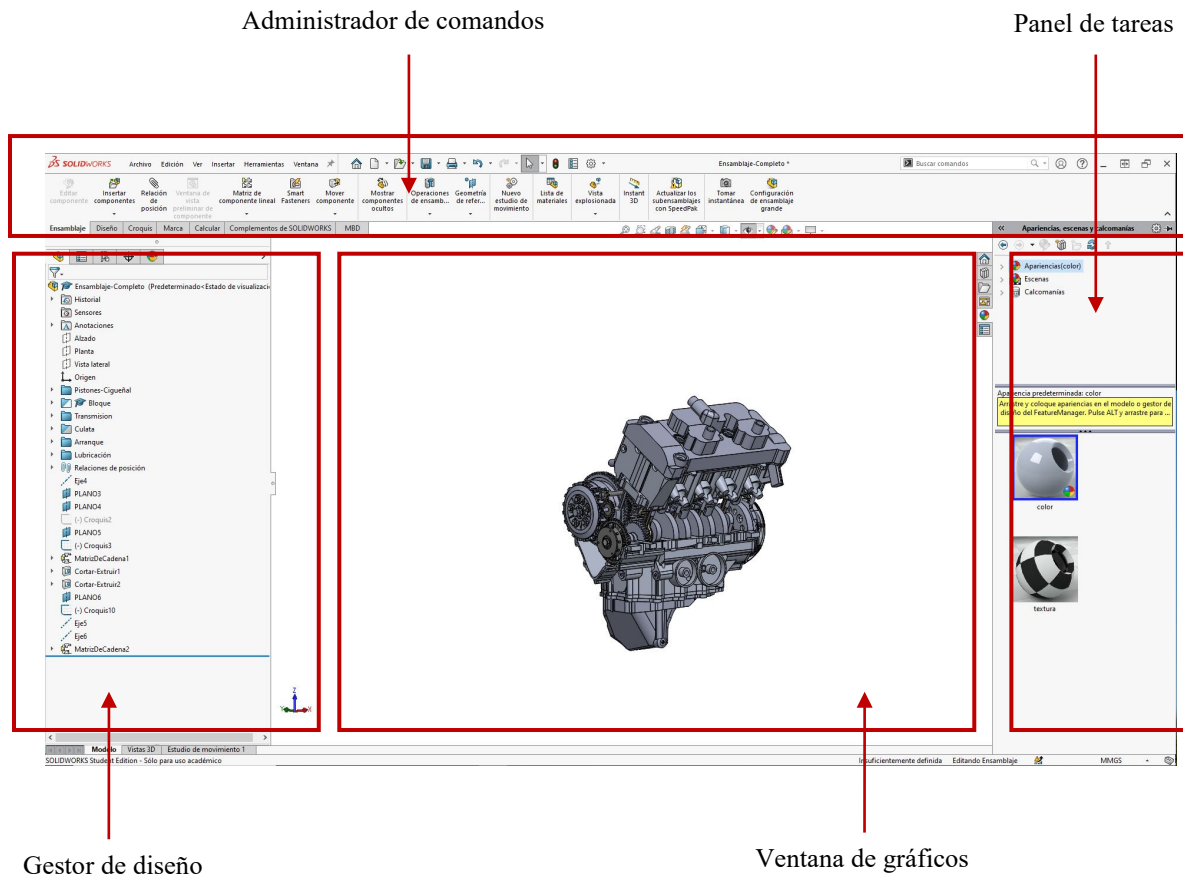
Figura 43. Ejemplo del uso del módulo Dibujo.



Nota. Elaboración propia.

Interactuar con el programa en las tres secciones comentadas anteriormente es muy similar. Todas ellas constan de cuatro partes principales desde donde se puede acceder a multitud de menús con los que se creara el diseño deseado. Las cuatro partes son denominadas ventana de gráficos, administrador de comandos, gestor de diseño, panel de tareas.

Figura 44. Partición de la pantalla de SolidWorks



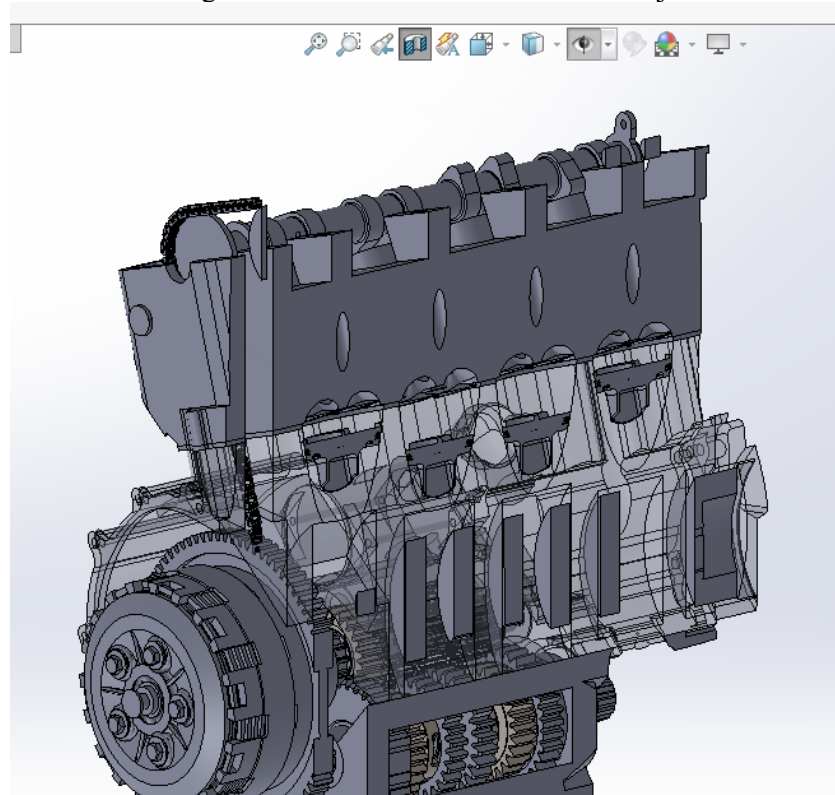
Nota. Elaboración propia. Captura de pantalla sobre el modelo propio y edición de imagen realizada por el autor.

- Ventana de gráficos.

Es la ventana que ocupa espacio más amplio de la pantalla y es donde se representa el objeto que se está modelando.

Dentro de la ventana de gráficos es el lugar en el que se nos permite acceder a la visualización del conjunto. Desde ahí y de una manera muy intuitiva se nos permite la movilidad en el espacio virtual para la visualización del objeto en multitud de posiciones. De este modo, podemos acercarnos y alejarnos, así como rotar la pieza para acceder a su completa visualización con la simple utilización del ratón.

Figura 45. Vista en sección del ensamblaje



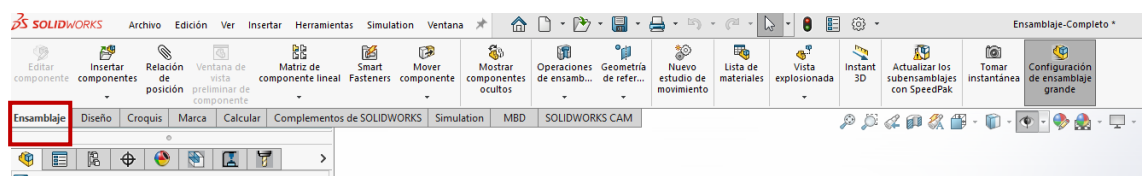
Nota. Elaboración propia.

El software cuenta con muchas posibilidades de visualización, entre ellas una muy útil es la de vista de sección que nos ofrece la posibilidad de visualizar el modelo seccionado, pudiendo trabajar sobre el directamente en esta vista y poder así acceder a zonas inaccesibles de otra manera.

- Administrador de comandos.

En la parte superior se disponen las pestañas que nos llevan a sus diferentes comandos.

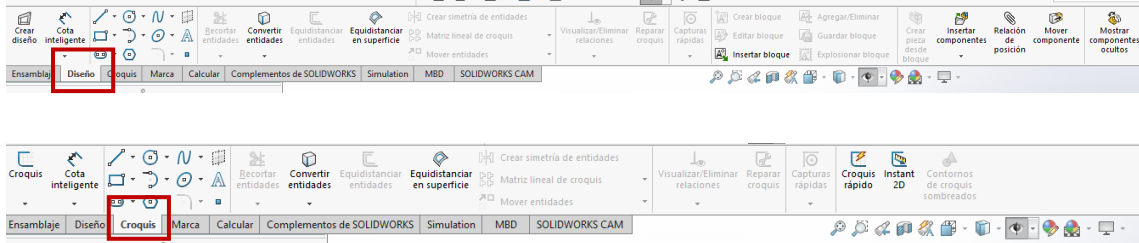
Figura 46. Barra de herramienta superior, con la pestaña de ensamblaje desplegada.



Nota. Elaboración propia.

En primer lugar, tenemos la pestaña ensamblaje en la que nos permite tanto insertar piezas ya creadas, crearlas directamente en el ensamblaje, modificar sus relaciones de posición, mover los elementos, crear elementos de referencia como planos o ejes, hacer estudios de movimiento, explosionados y fotografías entre otras más utilidades.

Figura 47. Pestañas de ‘diseño’ y ‘croquis’ de la barra de herramientas superior.

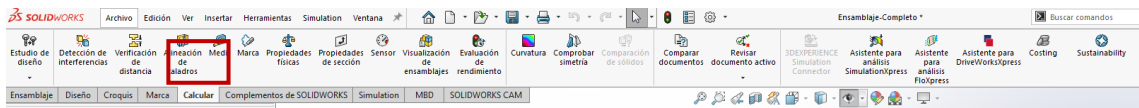


Nota. Captura realizada de la interfaz del programa SolidWorks y edición propia.

Tanto en la pestaña de diseño como en la de croquis, nos permite crear esbozos en 2D o 3D basándonos en una pieza ya existente o simplemente acotándolas y creándolos.

Estos croquis luego nos servirán para hacer operaciones que se explicarán más adelante.

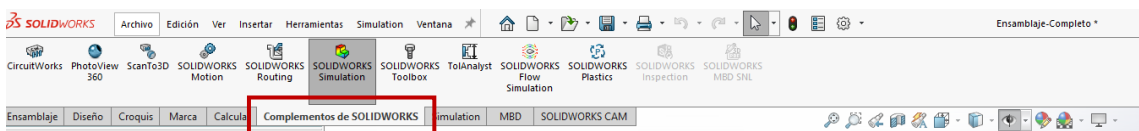
Figura 48. Pestaña de ‘calcular’ de la barra de herramientas superior.



Nota. Captura realizada de la interfaz del programa SolidWorks y edición propia.

En la pestaña “calcular” nos da las opciones para obtener datos geométricos y físicos entre otros que nos servirán para realizar los croquis con precisión o comprobar que todo está correcto según la realidad.

Figura 49. Pestaña de ‘complementos de SOLIDWORKS’ de la barra de herramientas superior.



Nota. Captura realizada de la interfaz del programa SolidWorks y edición propia.

En la siguiente pestaña que tenemos nos vienen todos los complementos que tenemos activos y que podemos usar para realizar simulaciones, obtener piezas normalizadas, etc. En este caso se tienen la mayoría de los complementos desactivados para aligerar carga computacional y que el software funcione de forma más fluida.

Estas son las pestañas más usadas para la realización de cualquier modelo, pero el programa cuenta con muchas más que podemos editar y agregar a nuestro gusto.

- **Panel de tareas.**

Muy útil en el contexto de exportar piezas a imágenes ya que dentro de este panel se encuentran todos los aspectos predeterminados por el programa y los que el usuario quiera introducir.

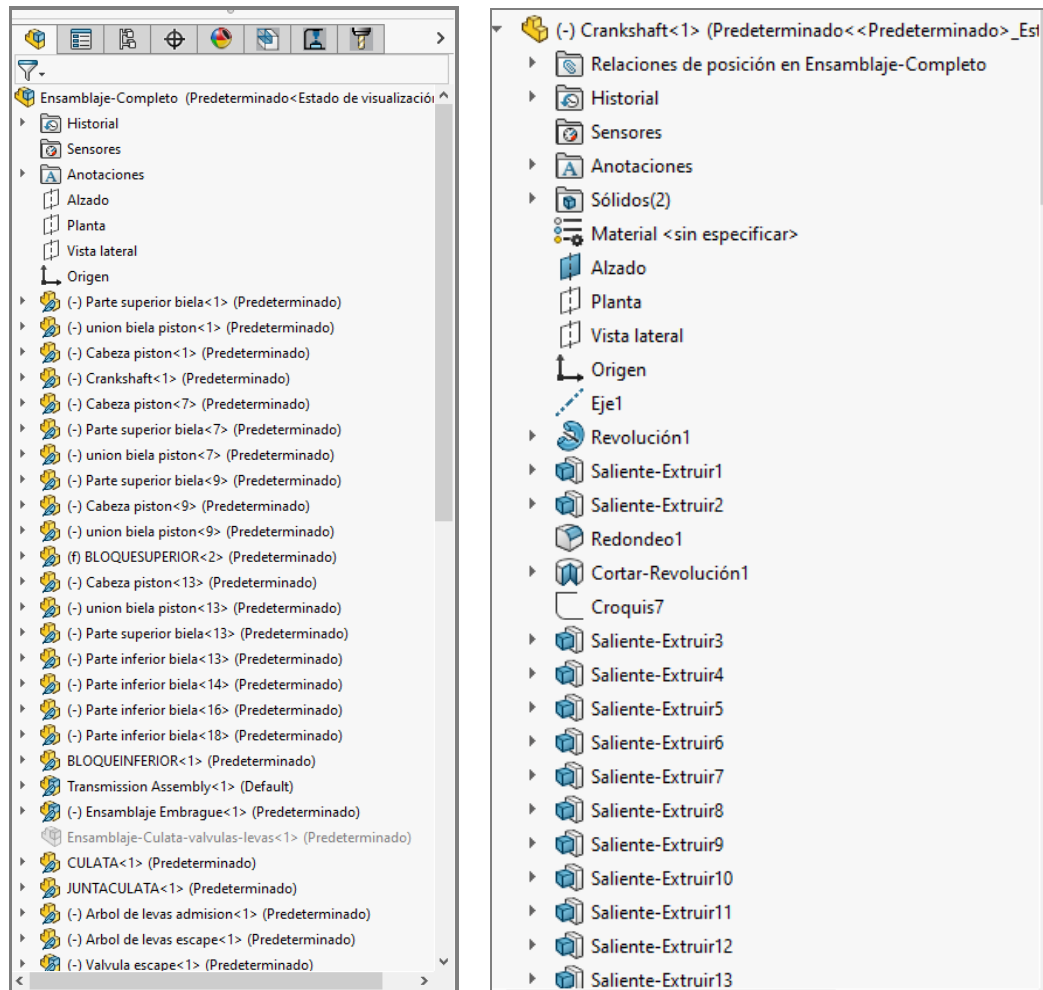
- **Gestor de diseño.**

En la parte izquierda de la interfaz tenemos el desplegable que nos muestra las acciones realizadas sobre el modelo y configuraciones.

Dentro del gestor de diseño existen varias pestañas: FeatureManager, PropertyManager, Configurationmanager, y DisplayManager, apareciendo alguna más específica según el módulo en el que nos encontremos como por ejemplo la DimXpertManager en Ensamblaje.

En el módulo de ensamblaje nos muestra los subensamblajes y sus piezas permitiéndonos el acceso a estas, pudiendo abrirlas, editarlas, ocultarlas, suprimirlas y en cada caso ver sus operaciones, referencias, materiales, etc.

Figura 50. Gestor de diseño con la pestaña 'FeatureManager' activa.



Nota. Captura realizada de la interfaz del programa SolidWorks.

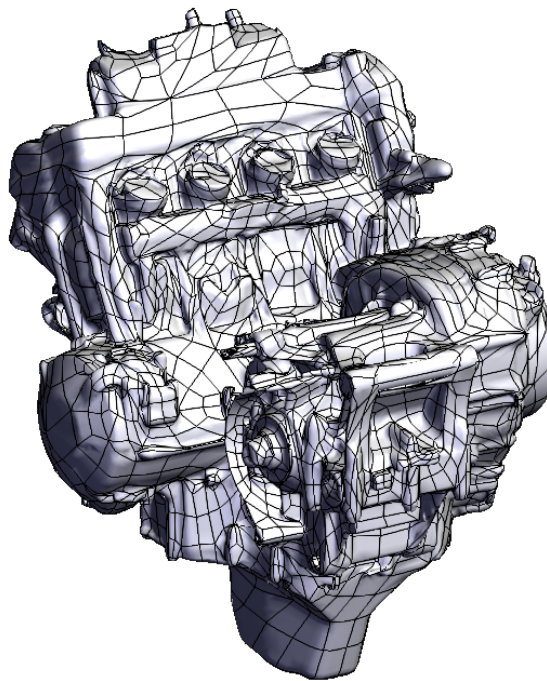
6. Ensamblaje general y subensamblajes

Para describir mejor el gemelo virtual vamos a dividir el ensamblaje general en varios subensamblajes.

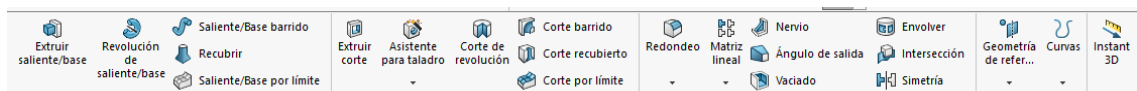
Esto lo hacemos para hacer una breve explicación del funcionamiento de cada elemento y que función desempeña en el motor real.

Como punto de partida a la hora de modelar contamos con un sólido escaneado directamente del motor completo, como es un sólido solo representa el exterior del motor y no con mucho detalle, por lo tanto, se ha tenido que editar continuamente para ajustarnos al máximo a la realidad.

Figura 51. Escáner superficial previo

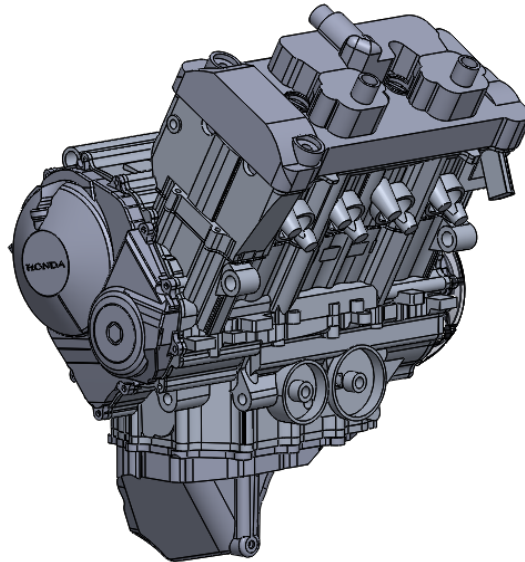


Una vez tenemos el motor escaneado, procedemos a pulir las geometrías con operaciones básicas ya descritas en un apartado anterior.



A continuación, se muestra el bloque macizo definido pormenorizadamente con los aspectos definidos de la superficie.

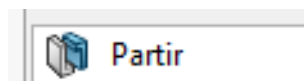
Figura 52. Bloque macizo modelado exteriormente



Nota. Elaboración propia.

Cuando ya tenemos el bloque completamente definido y con el detalle deseado pasamos a modelar cada pieza por separado, para poder modelar las piezas teniendo la base del sólido se ha usado un comando que dispone SolidWorks para esta tarea:

Comando 'partir'



Después de haber partido el bloque con el comando partir, en todas las piezas que componen el motor a nivel estructural obtenemos unos modelos que aún son sólidos macizos.

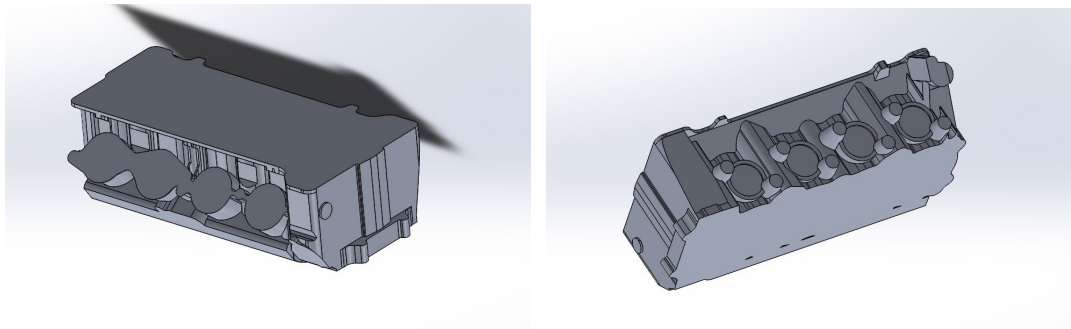
Posteriormente, se procede al vaciado y pulido de las partes de la manera que se ajuste más a la realidad a través del cotejo de medidas continuamente del modelo real.

Para ello, pasamos al siguiente punto para centrarnos más específicamente en el modelado de cada subensamblaje.

6.1. Culata

Este bloque de aluminio se fabrica sobre un molde con todos los orificios y se mecaniza lo necesario para acoplar cada una de sus piezas. En este subensamblaje tendremos definidos tanto los árboles de levas como todas las válvulas con sus respectivos muelles, pastillas calibradas, casquillos, etc.

Figura 53 y 54. Bloque primitivo de la culata extraída del bloque macizo



Nota. Elaboración propia.

Partimos de un bloque macizo, como mostramos en las figuras. A partir de ahí se procede al vaciado de este para permitir el acceso el resto de las piezas que acometen en este subconjunto. Partiendo como referencia el centro de cada uno de los cilindros, realizamos una gran variedad de operaciones. Estas operaciones pueden observarse en la pestaña de operaciones activa en la zona izquierda de la pantalla teniendo como referencia el centro de cada cilindro para tener una referencia exacta con respecto al resto de subensamblajes.

Comando ‘partir’

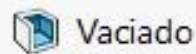
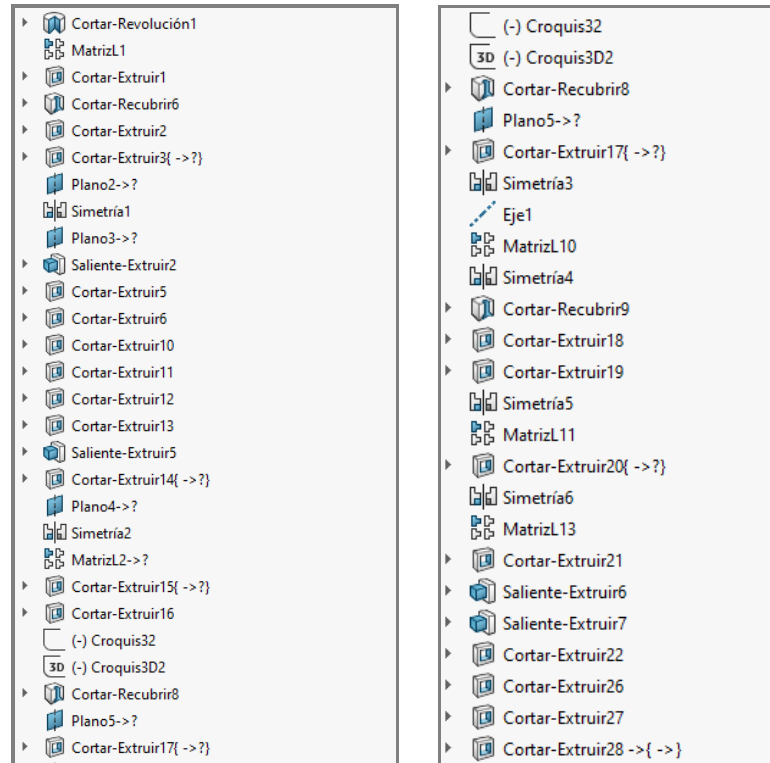
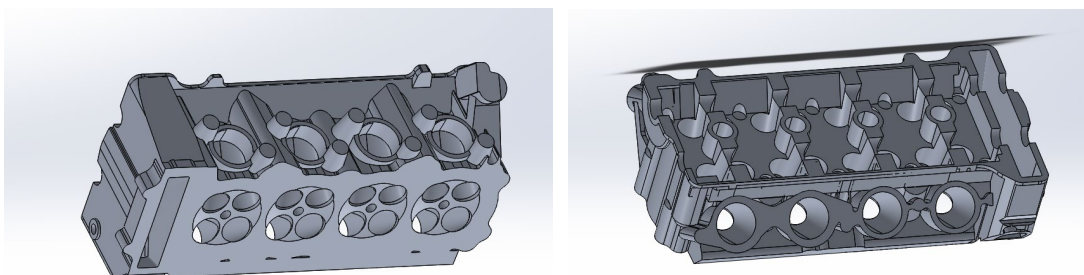


Figura 55. Operaciones utilizadas para la definición de la culata



Tras la adición de todas las operaciones especificadas en las figuras anteriores, obtenemos la pieza final. Una pieza de geometría compleja debido a la gran variedad de componentes que acometen en ella. Para su obtención se ha consultado manuales específicos del motor (Owner Manual Honda CBRF600RR, 2007) y se ha procedido a la obtención de medidas reales gracias al acceso al motor cedido.

Figura 56. Modelado final de la culata



Nota. Imágenes extraídas de capturas de pantalla del programa SolidWorks. Elaboración propia.

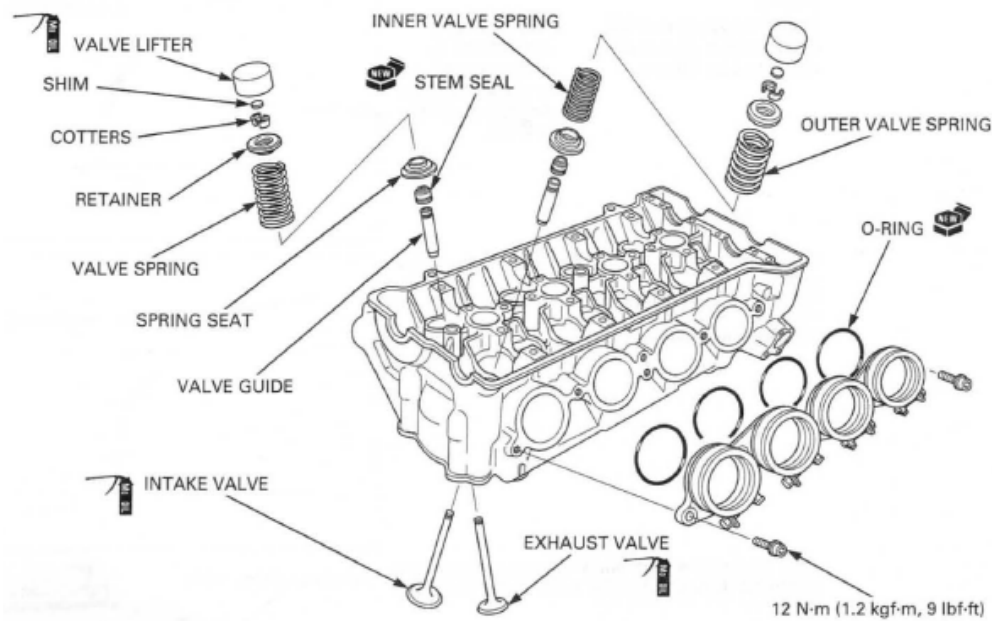
Dentro de la culata tenemos muchos componentes importantes entre ellos las válvulas y los árboles de levas que son los principales elementos característicos de un motor de cuatro tiempos DOHC.

Seguidamente, definiremos los componentes existentes y modelados para la realización de este trabajo.

6.1.1. Válvulas

En este caso tenemos dos tipos de válvulas distintas, unas para la admisión y otras para el escape.

Figura 57. Manual de despiece de válvulas

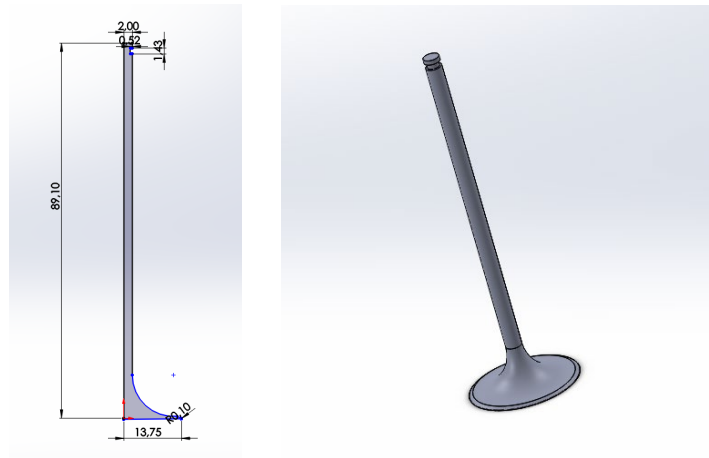


Nota. Extraído del Owner Manual Honda CBR600RR.

Para proceder a la explicación de las válvulas existentes en el gemelo virtual se muestra un croquis de cada una de las válvulas existentes, así como el modelado final de las mismas.

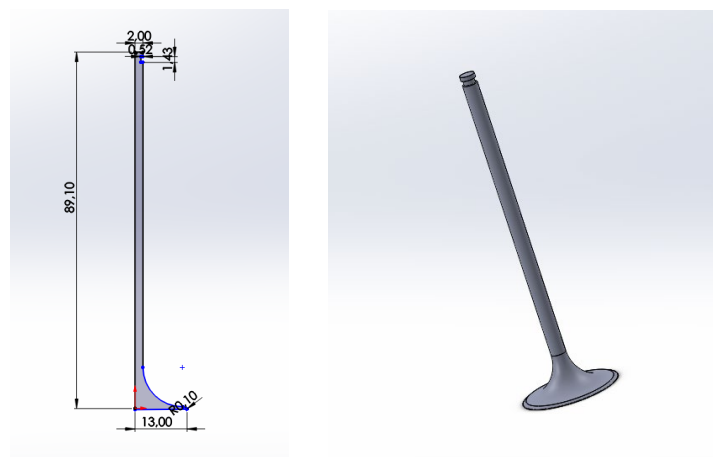
Como se puede observar, las primeras, pertenecientes a la admisión cuentan con un mayor diámetro. Esto es debido a la mayor capacidad de aire absorbido en cada ciclo.

Figura 58 y 59. Croquis y modelado de la válvula de admisión.



Nota. Elaboración propia.

Figura 60 y 61. Croquis y modelado de la válvula de escape.



Nota. Elaboración propia.

Ambas están fabricadas en acero con una gran cantidad de procesos térmicos que le dan una resistencia especial para el desempeño que tienen.

6.1.2. Muelles

El motor objeto de estudio, cuenta con una serie de muelles internos y externos.

Disponemos de dos muelles por cada válvula de admisión (muelles internos) y un solo muelle externo por cada válvula de escape.

Para el modelo presente hemos obviado el muelle interno para el subensamblaje y todos los muelles para el ensamblaje general debido a la carga computacional que requiere un modelo de quinientas piezas con estudio de movimiento.

6.1.3. Copela, chaveta cónica, guía de válvula y reten de válvula

La copela. Es el elemento que retiene los muelles en conjunto con la chaveta cónica. Para proceder a la extracción de una válvula se necesita comprimir el muelle. Esto permitirá que la chaveta cónica salga de su posición apoyada en la copela.

La guía de válvula. Son unos elementos en forma de casquillo alargado, colocados en unas cavidades destinadas dentro de la culata y por las cuales se deslizan los vástagos de las válvulas. Es el componente que garantiza la alineación para el desplazamiento axial de las válvulas. Es un elemento fabricado en una aleación caracterizada por un coeficiente de dilatación lo más elevado posible y por una gran resistencia al desgaste.

El retén de la válvula sirve para no dejar pasar aceite de la culata a través de la guía de válvula hasta llegar a la cámara de combustión.

6.1.4. Shim o pastilla calibrada.

Se trata de un elemento muy importante para el correcto funcionamiento del ciclo ya que se encarga de que la válvula este en su posición correcta con respecto al árbol de levas.

A medida que se usa el motor este va teniendo un desgaste muy pequeño en el asiento de las válvulas que con el tiempo puede provocar que no se cierre por completo (válvula pisada) o, que, por el contrario, no se abra en el momento exacto.

Estas causas pueden provocar pérdida de potencia o incluso una avería, por lo tanto, se realiza el llamado “reglaje de válvulas” cambiando estas pastillas calibradas por las medidas exactas para que la tolerancia que haya entre el árbol de levas y el casquillo de la válvula sea 0,15 para admisión y 0,20 para escape en el instante de punto muerto superior del pistón en la fase de explosión para cada cilindro.

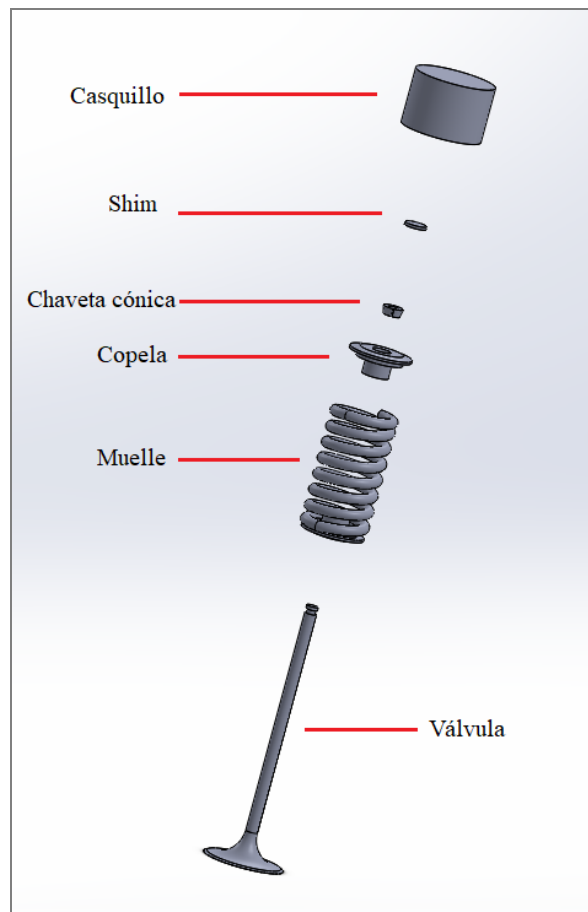
Es una tarea complicada y laboriosa ya que requiere ir girando el cigüeñal y tomando medidas de calibre fijo con galgas. Para posteriormente desmontar los árboles de levas, cambiar las pastillas y volver a montarlo todo con su respectivo calado de distribución.

6.1.5. Casquillo

Sirve para apoyar la leva en una superficie grande y con poco rozamiento.

A continuación, se muestra una imagen representativa de los elementos descritos anteriormente y de su relación.

Figura 62. Explosionado de los elementos ligados a la válvula



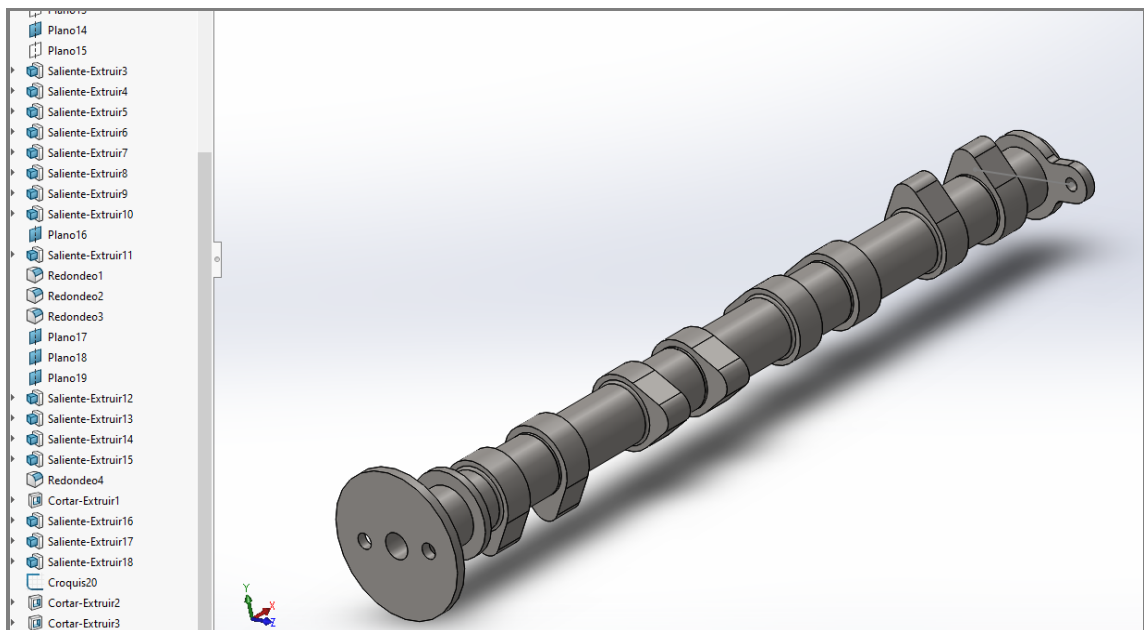
Nota. Elaboración propia.

6.1.6. Árboles de levas

El árbol de levas es una barra alargada compuesta de levas. Es un elemento axial destinado a la rotación sobre sí mismo. Esta rotación produce que las levas accionen la apertura y el cierre de las válvulas a través del vencimiento de la fuerza de los muelles.

De este modo, gracias a la rotación del árbol de levas, a través de un movimiento circular conseguimos un movimiento rectilíneo en las válvulas mediante un contacto directo.

Figura 63 Árbol de levas de admisión.



Nota. Elaboración propia.

Están fabricados en acero, tratados térmicamente y mecanizados con una rugosidad mínima. Son caros de fabricar ya que la precisión necesaria es muy alta.

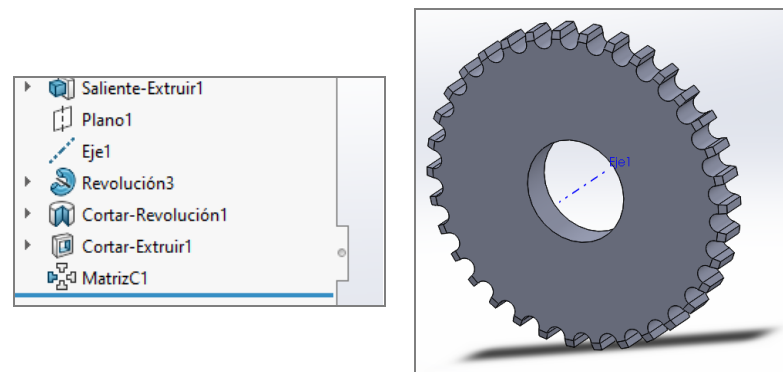
Para modelarlos usamos un croquis en el que vamos se ha ido variando el ángulo de cada pareja de levas. De esta manera se procedió a modelar una de la pareja de levas y las demás se han realizado solo variando el ángulo de giro de estas. Cada par levas se encuentran giradas con un ángulo de 90° con respecto al par más próximo.

6.1.7. Corona distribución

La corona de distribución es el engranaje donde se acopla la cadena de distribución y se sincroniza el movimiento de los dos árboles de levas con el cigüeñal, siendo el giro de los árboles la mitad que el del cigüeñal.

Hay una corona para cada árbol de levas, tanto para escape como para admisión. Ambas (escape y admisión) son iguales, a excepción del ángulo de los agujeros para atornillarla al árbol de levas y las marcas para el calado de distribución.

Figura 64. Corona de distribución y operaciones necesarias para su modelado.

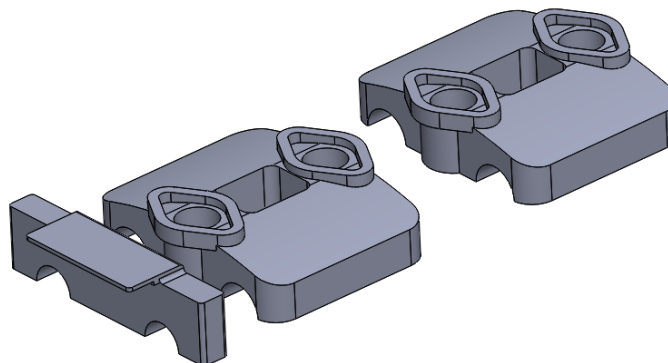


Nota. Elaboración propia.

6.1.8. Torretas

Son los elementos que se encargan de anclar los árboles de levas a la culata. Están fabricados en aluminio fundido en molde con su respectivo mecanizado de precisión para hacer que los árboles giren libremente sin desgaste.

Figura 65. Torretas

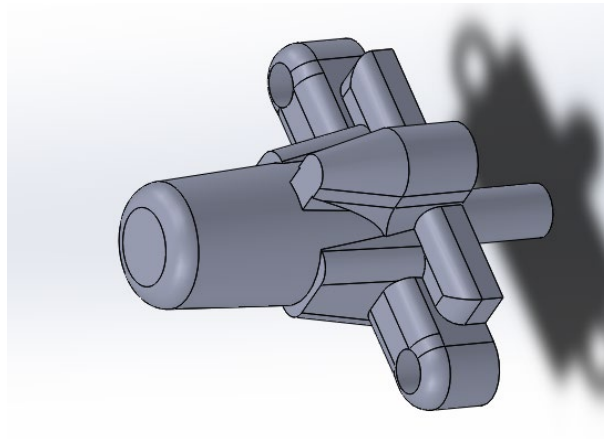


Nota. Elaboración propia.

6.1.9. Tensor de la distribución

El tensor de la distribución es la pieza que asegura la tensión de la cadena de distribución. Esto lo logra gracias a la presión del aceite y a un muelle que mantiene una fuerza constante sobre un empujador que a su vez ejerce una fuerza constante sobre el patín de la distribución.

Figura 66. Tensor de la distribución

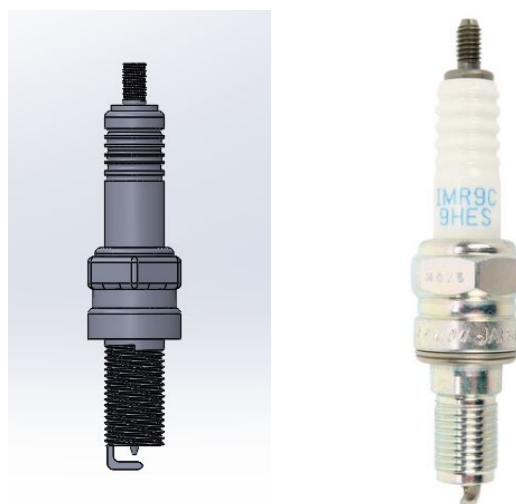


Nota. Elaboración propia.

6.1.10. Bujías

Este motor cuenta con unas bujías NGK de iridio modelo IMR9C-9HES.

Figura 67. Bujía modelo y 68. Bujía real

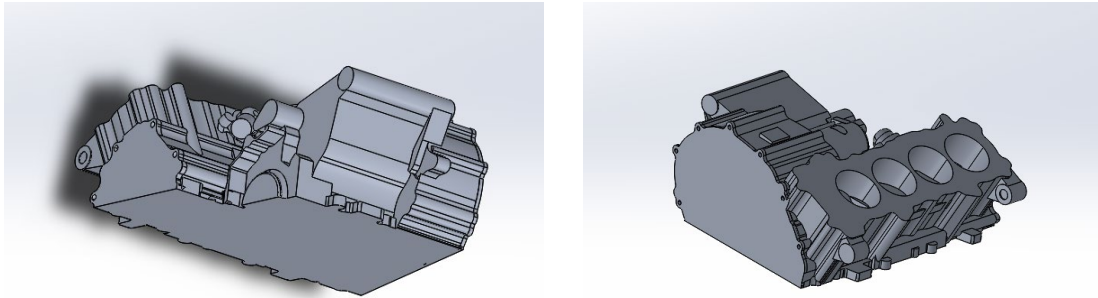


Nota. Elaboración propia.

6.2. Bloque superior

Para la realización del bloque inferior se ha partido de un bloque macizo como es el caso del apartado anterior (culata).

Figura 69. Bloque superior primitivo



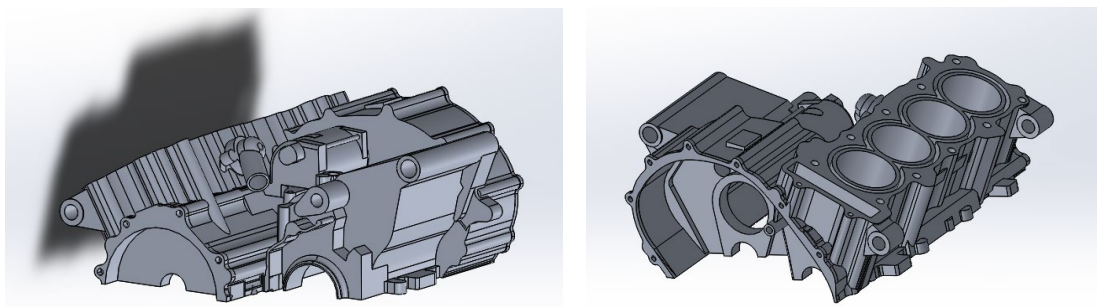
Nota. La imagen muestra el inicial extraído de la pieza general, solo modelada en sus elementos superficiales y contornos. Imagen capturada del programa SolidWorks. Elaboración propia.

Al igual que la culata y el resto de los bloques, este se fabrica con una aleación de aluminio en molde y se mecaniza todo lo necesario, como los orificios de lubricación y de refrigeración.

En este elemento van acopladas todas las camisas de los cilindros para que su deslizamiento no sea sobre una aleación tan débil de aluminio.

En este modelo en concreto, para poder desmontar el motor hay que separar el bloque inferior del superior ya que el cigüeñal y el eje primario de la caja de cambios quedan en medio de ambos con sus respectivos rodamientos.

Figura 70. Modelado final del bloque superior

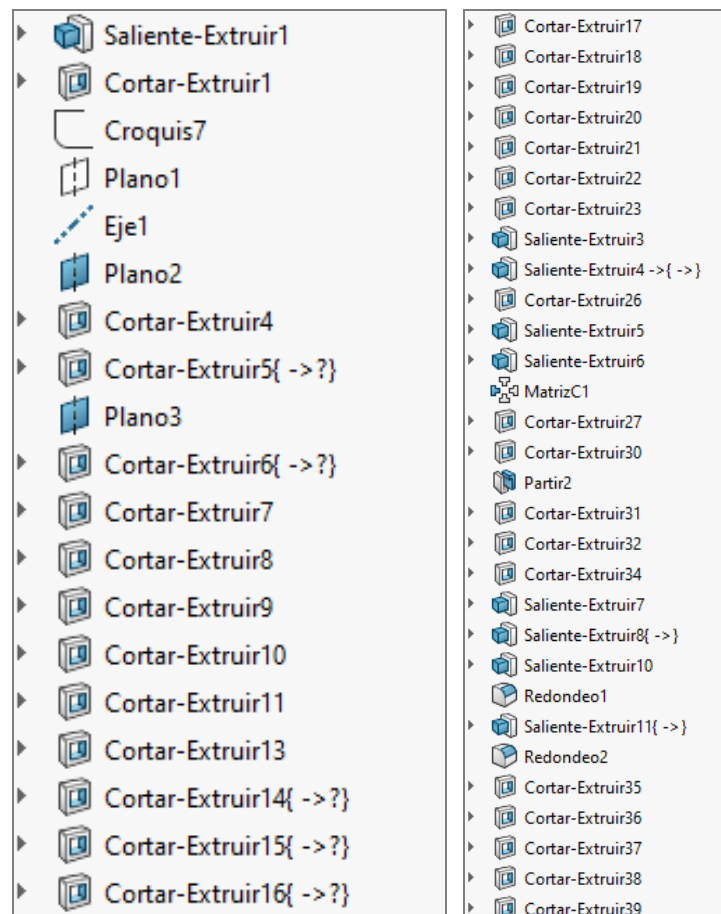


Nota. Elaboración propia.

Para elaborar el CAD de este bloque primero se toma la referencia de los cilindros, con sus medidas y sirviendo de referencia para la colocación del cigüeñal, bielas, pistones al igual que sirvió para modelar la culata y las aberturas de sus válvulas.

Una vez tenemos una referencia firme ya solo tenemos que hacer un vaciado completo que consta de una gran cantidad de operaciones de corte ya que la herramienta de SolidWorks “vaciado” no funciona con esta geometría tan compleja.

Figura 71. Operaciones realizadas para la creación del bloque superior



Nota. Las imágenes muestran el listado de operaciones necesarias para la creación del gemelo virtual correspondiente al bloque superior. En total, 49 operaciones entre las que destaca el comando ‘cortar-extruir’. Imagen elaborada a través de la captura de pantalla del programa SolidWorks. Elaboración propia.

En el bloque superior, aunque sea el soporte de muchos más elementos, vamos a ubicar en este apartado todos los elementos que producen el ciclo de cuatro tiempos como son cigüeñal, bielas, pistones, etc. y el sistema de arranque.

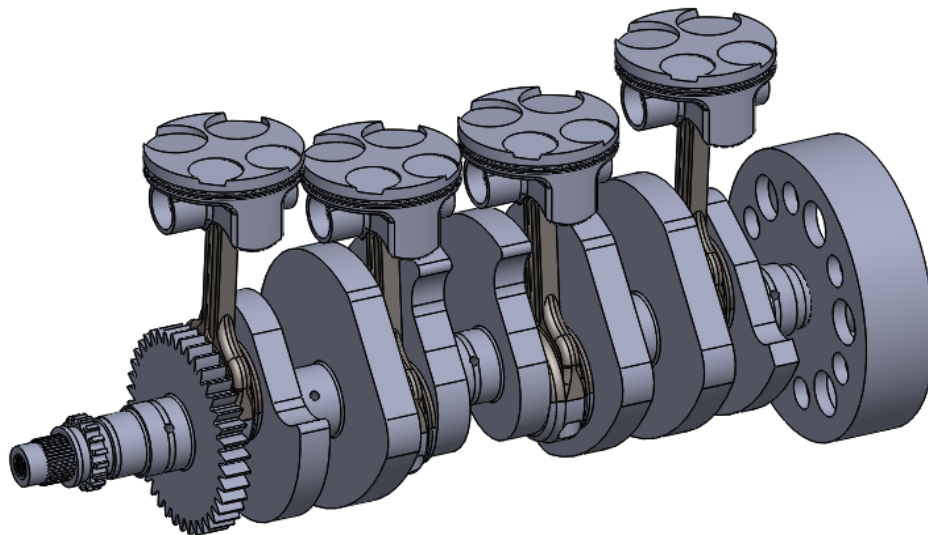
6.2.1. Conjunto cigüeñal-biela-pistón

Este ensamblaje está compuesto por el cigüeñal, las bielas y los pistones.

Por motivos de agilización del cálculo computacional necesario para hacer los estudios de movimiento del modelo se han suprimido algunas piezas como los segmentos, los circlips de los pistones y los rodamientos del cigüeñal ya que son una geometría sencilla y no le aportarían mucho detalle al sistema, pero si ralentizase su uso.

Como se ha descrito en el apartado de fundamento teórico denominado parámetros geométricos, este motor cuenta con las siguientes características: un pistón de 67 mm de diámetro, una carrera de pistón de 42,5 mm y una relación de compresión de 12, 2:1.

Figura 72. Conjunto cigüeñal-biela-pistón

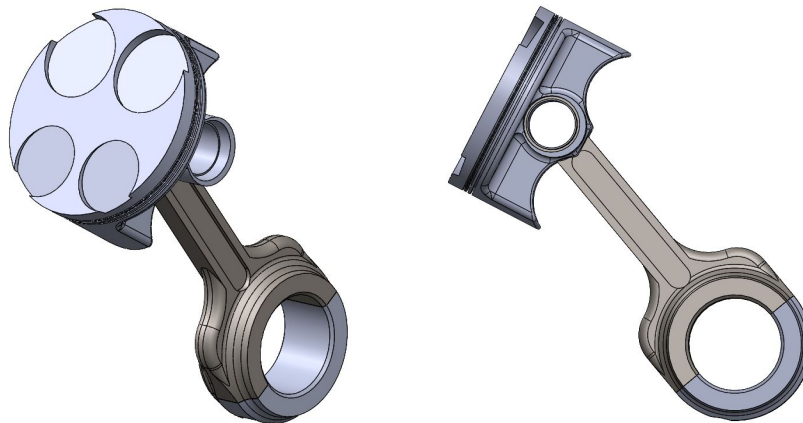


Nota. Elaboración propia

Inicialmente se creó el cigüeñal, como eje acodado con contrapesos, cada uno de ellos diseñados formalmente gracias al modelo real.

Posteriormente se realizó el modelado de uno de los elementos de la biela-pistón-bulón, el cual se replicó tres veces a lo largo del cigüeñal, cada uno en su posición exacta creando así todo el ensamblaje completo.

Figura 73. Ensamblaje biela-pistón-bulón

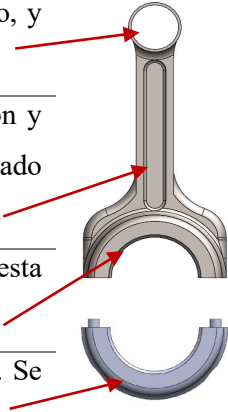


Nota. Elaboración propia

Cada elemento cuenta con su geometrías formales y acabados superficiales correspondientes.

En el caso de la biela se puede percibir el detalle de geometría alcanzado en sus respectivas partes:

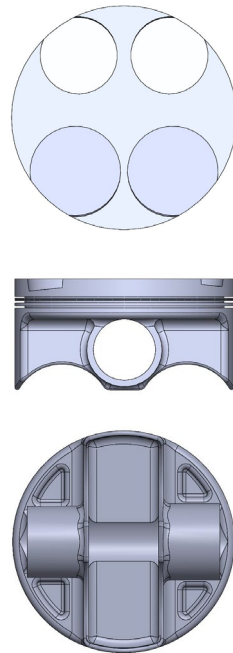
Figura 74. Partes de la biela

Pie	Es la parte de la biela con la apertura de menor diámetro, y donde se introduce el bulón.	
Cuerpo	Es la parte central. Está sometido a esfuerzos de tracción y compresión en su eje longitudinal, suele estar aligerado gracias a su sección transversal, en este caso sección H.	
Cabeza	Es la parte con el orificio de mayor tamaño, está compuesta por dos mitades, una de ellas unida al cuerpo.	
Sombrero	Es la otra parte de la cabeza que se encuentra articulada. Se une a la primera mediante pernos.	

Nota. Elaboración propia

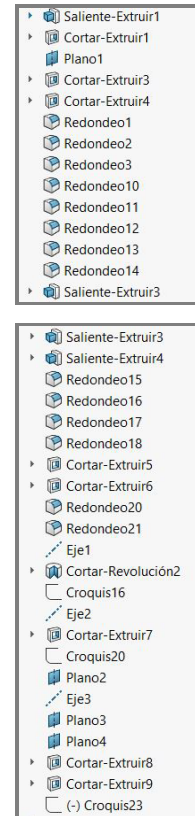
Para obtención de la geometría deseada de todo el conjunto cigüeñal-biela-pistón, se ha realizado un gran número de operaciones. A continuación, mostramos como ejemplo, las vistas del pistón y las operaciones necesarias para la realización del gemelo virtual de este.

Figura 75. Vistas cabeza de pistón



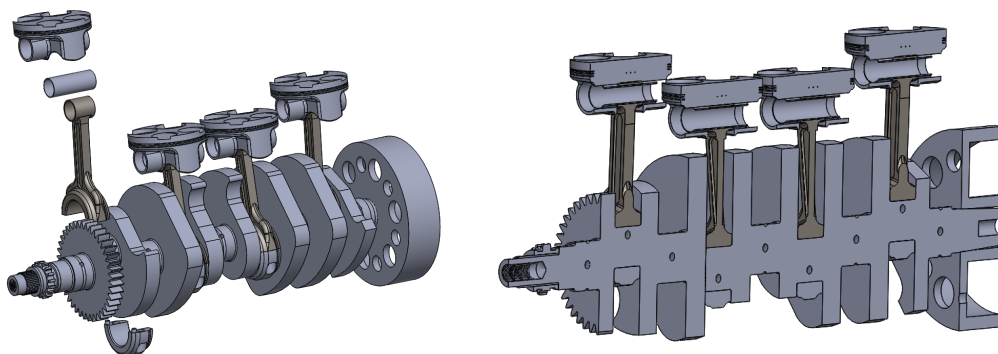
Nota. Vistas Superior, inferior y alzado de la pieza.

Figura 76. Operaciones realizadas para la creación de la cabeza de pistón



Para conseguir el movimiento deseado se ha tenido en cuenta una gran cantidad de relaciones geométricas entre los distintos componentes, de ello hablaremos en un apartado posterior.

Figura 77. Explosionado y sección del conjunto cigüeñal-biela-pistón



Nota. La figura de la izquierda muestra el conjunto con uno de los ensamblajes biela-pistón-bulón en explosionado. La figura de la derecha muestra una sección longitudinal del conjunto cigüeñal-biela-pistón. Elaboración propia.

6.2.2. Sistema de arranque

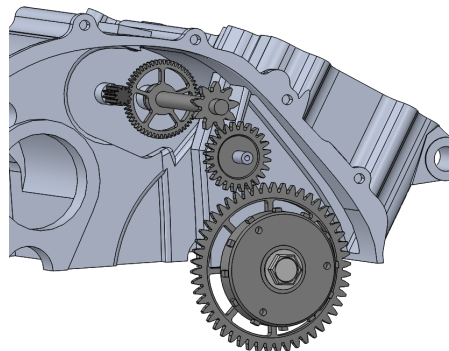
Este sistema cuenta con un motor de arranque eléctrico a 12V que se activa con el botón de arranque de la motocicleta.

Este motor transmite el giro a través de varios engranajes con una reducción importante de la velocidad para poder vencer la fuerza de compresión de los pistones y de los muelles de las válvulas.

Para que le llegue ese giro al cigüeñal y que este no se mantenga conectado al motor de arranque, el motor cuenta con un embrague de arranque o bendix.

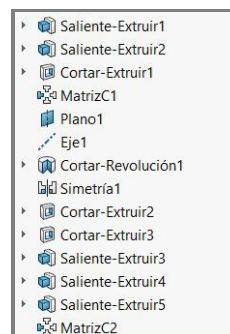
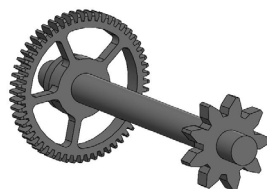
Este elemento mecánico transmite la velocidad de giro en una sola dirección y por lo tanto una vez arranca el motor no le transmite nada al motor de arranque.

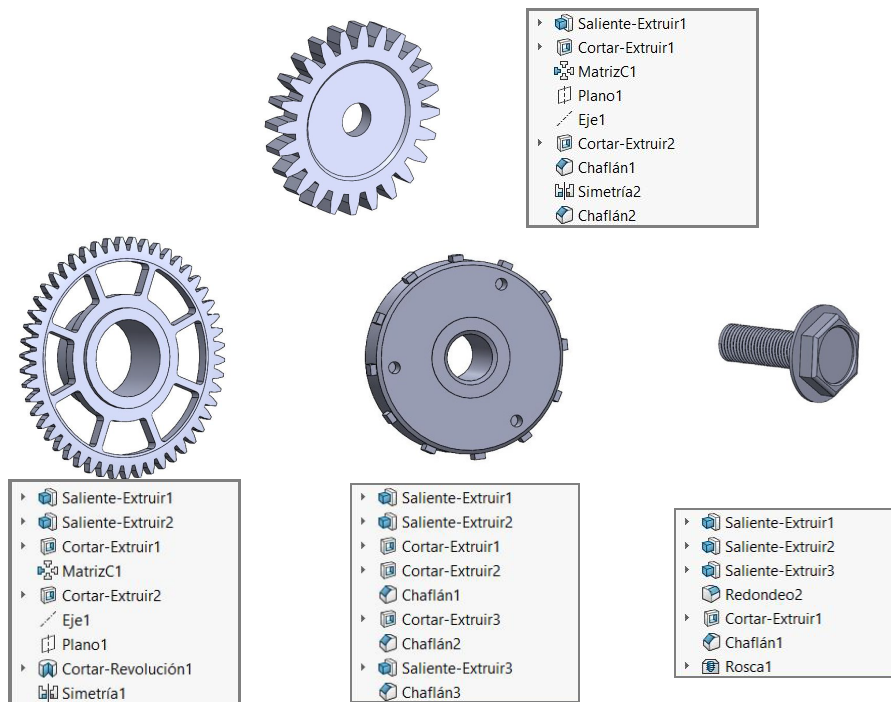
Figura 78. Sistema de arranque



Nota. Elaboración propia.

En las siguientes figuras se muestran los elementos que constituyen el sistema de arranque con las operaciones necesarias para su modelado.





6.2.3. Junta de culata

La junta es un elemento muy importante del ensamblaje. Se sitúa entre la culata y el bloque motor. Se trata de una fina lámina de pocos milímetros de espesor que tiene un objetivo muy sencillo: sellar la zona y asegurar que ambos componentes queden estancos. Para ello se encuentra fabricada en una aleación metálica especial deformable compuesta por varias juntas. Su función es unir el bloque superior con la culata manteniendo la compresión debida que, al ser deformable, se amolda a las imperfecciones que haya en ambas superficies. De este modo se evita que se pierda la explosión por esta unión.

Figura 79. Junta de Culata

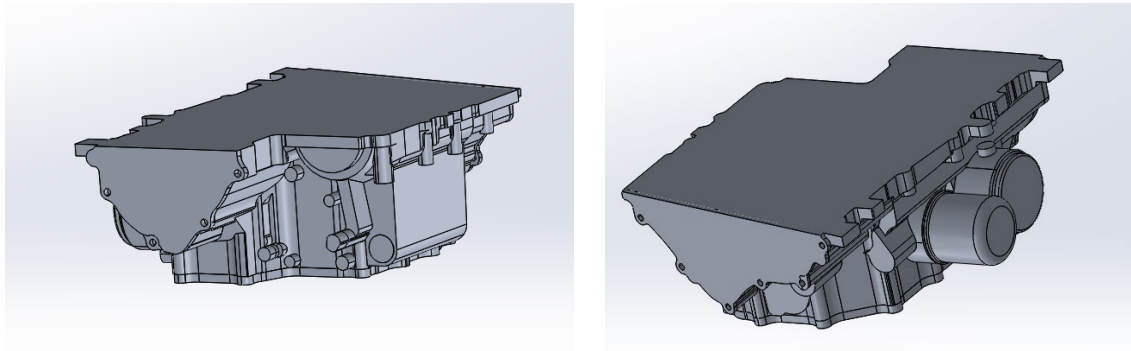


Nota. Elaboración propia

6.3. Bloque inferior

En este punto al igual que en los anteriores partimos de un bloque macizo fabricado de la misma manera que el bloque superior y la culata. A su vez se encuentra realizado en el mismo material.

Figura 80. Bloque inferior primitivo



Nota.

Como el resto de los bloques realizados, la herramienta vaciada sigue sin funcionar para una geometría tan compleja, por lo tanto, seguimos usando las herramientas básicas de 'extruir corte'.

Comando 'extruir
corte'

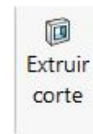
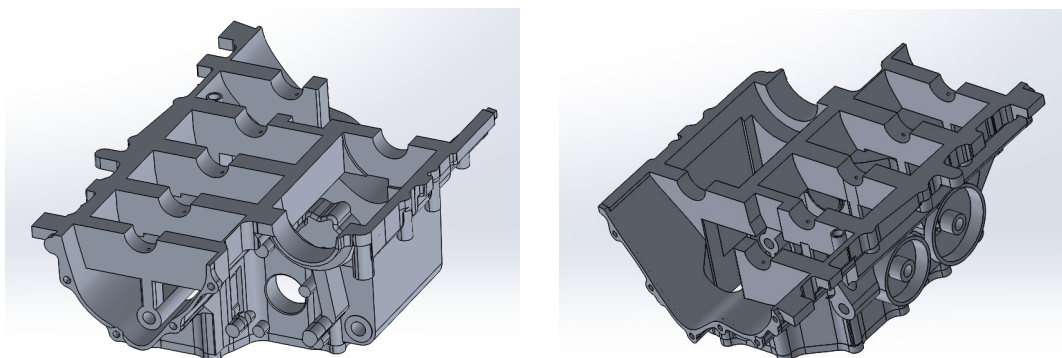
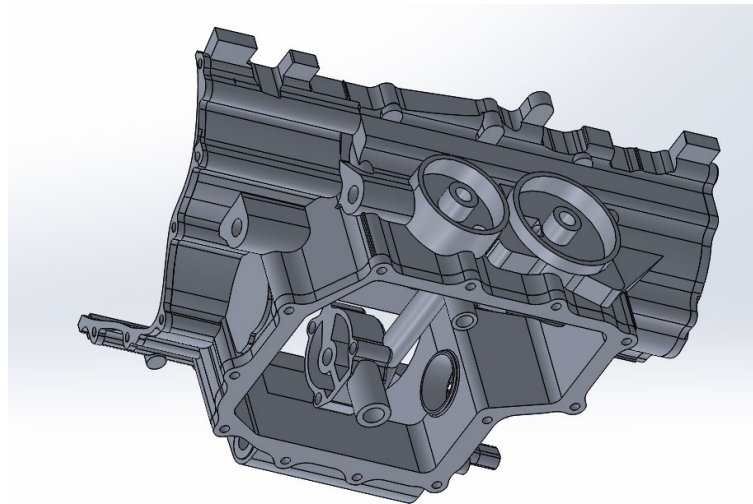


Figura 81. Modelo final del bloque inferior

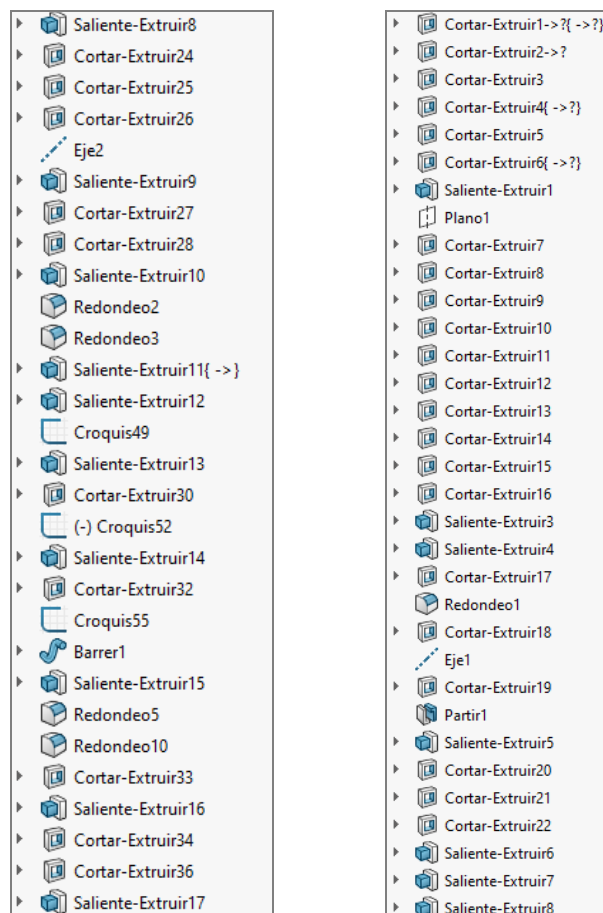




Nota.

En las siguientes figuras se muestra las operaciones necesarias para la recreación del bloque inferior.

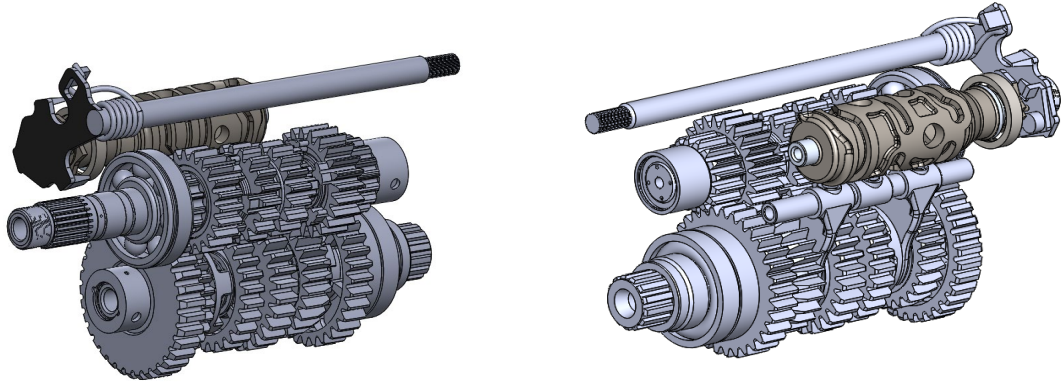
Figura 82. Operaciones realizadas para la creación del bloque inferior.



6.4. Caja de cambios

Nos encontramos con una caja secuencial de seis velocidades que nos transmite la fuerza desde el embrague hasta el piñón de salida.

Figura 83. Modelado final de la caja de cambios



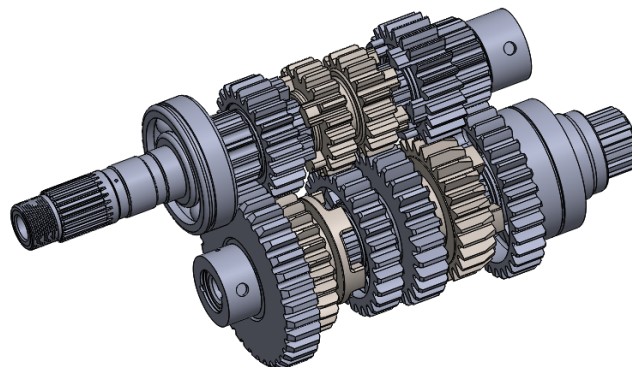
Nota.

Esta se compone de varios elementos que hacen posible el salto de un engranaje a otro para variar la relación de transmisión en función de lo que demande la situación.

6.4.1. Ejes primario y secundario

Estos trenes de engranajes son los encargados de transmitir la fuerza, cuenta con engranajes que se desplazan linealmente en la dirección del eje para engranar solidariamente con los de su mismo eje o con los del otro. Con estas combinaciones conseguimos tener seis marchas y un neutro.

Figura 84. Eje primario y secundario



Nota.

Estos ejes giran libremente sobre rodamientos acoplados a los bloques superior e inferior.

Figura 85. Explosionado de los ejes primario (superior) y secundario (inferior)



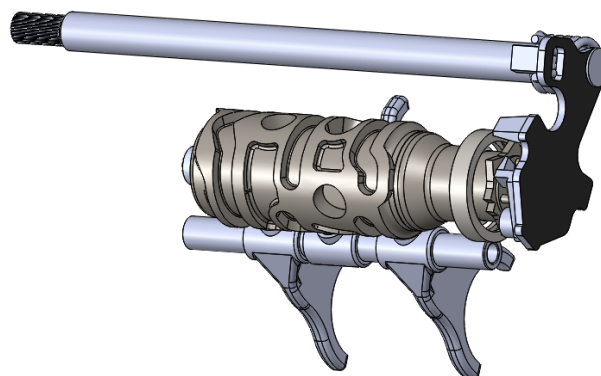
Nota.

El eje primario gira juntamente con la maza de embrague y el secundario es el que mueve el piñón.

6.4.2. Conjunto selector del cambio.

Para conseguir desplazar linealmente los engranajes libres sobre los ejes para conseguir engranar unos u otros usamos varias piezas que, funcionando conjuntamente, transmitimos el movimiento del pedal del cambio que accionamos con el pie a un movimiento que desplaza los engranajes sobre sus ejes.

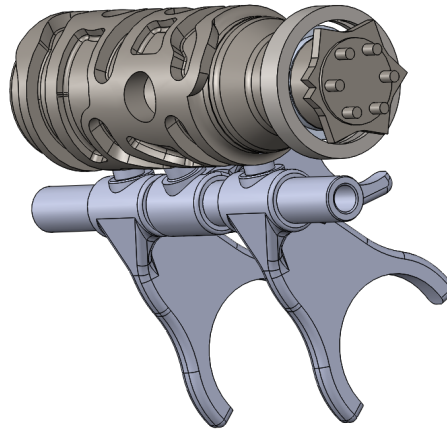
Figura 86. Conjunto selector del cambio



Nota. Elaboración propia

Al girar el eje del cambio este empuja unas pestañas que tiene el barrilete, que es la pieza marrón con surcos, y lo desplaza una posición de las siete que tiene.

Figura 87. Conjunto selector del cambio

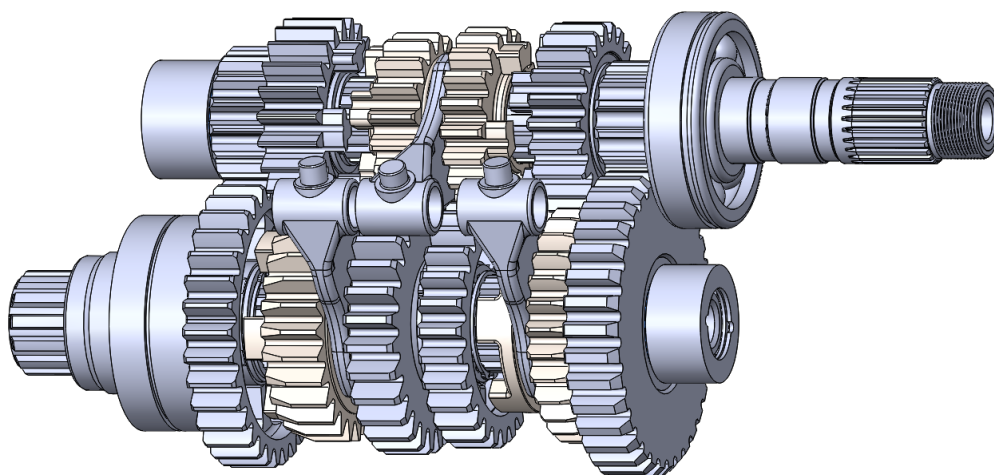


Nota. Elaboración propia

Una vez ha empujado el barrilete, éste gira y cambia de posición o más bien de marcha, esto hace que las palometas se desplacen a derecha o izquierda dependiendo de la marcha que sea siguiendo los surcos del barrilete.

Con este desplazamiento de las palometas conseguimos desplazar los engranajes libres para que se acoplen a los de su mismo eje o que engranen con los del otro eje.

Figura 88. Localización del conjunto selector del cambio junto al eje primario y secundario

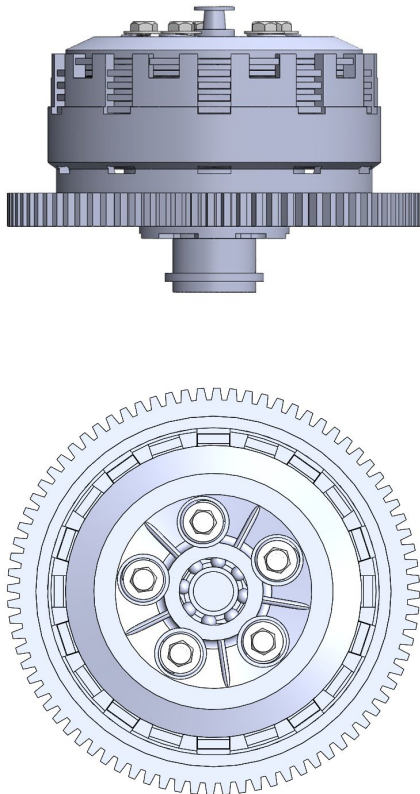


Nota. Elaboración propia

6.5. Embrague

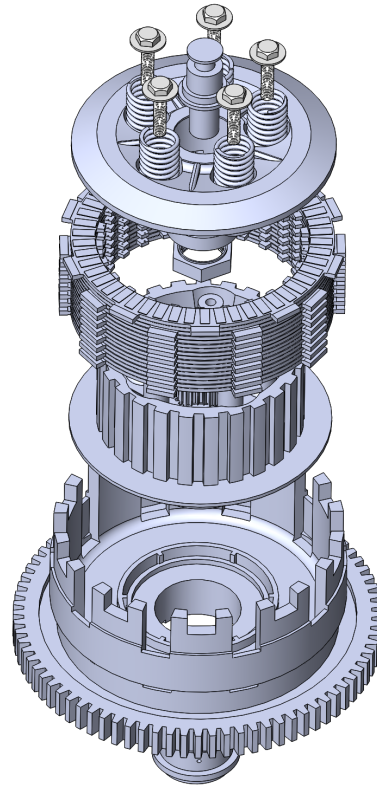
El embrague es un elemento muy importante a la hora de usar correctamente el vehículo ya que nos permite desconectar parcial o totalmente el cigüeñal de la caja de cambios.

Figura 89. Alzado y planta del embrague.



Nota. Elaboración propia

Figura 90. Explosionado embrague



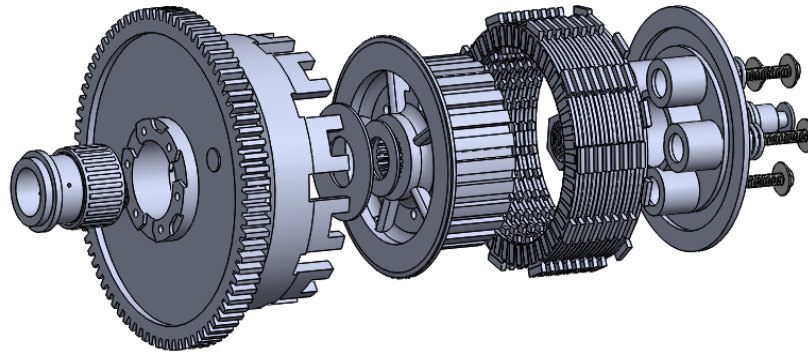
Nota. Elaboración propia

Geométricamente, se trata de un ensamblaje de revolución combinado por una serie de elementos dispuestos alrededor de un eje central. Principalmente, está compuesto de una canasta donde gira en su interior libremente una campana. Estos dos elementos se unen mediante el rozamiento de unos discos con ferodos y otros discos separadores, los primeros están acoplados a la canasta y los segundos a la campana.

Cuando el piloto no está accionando la palanca del embrague, los muelles están comprimiendo ambas parejas de discos entre si continuamente y, por tanto, el giro del cigüeñal se transmite a la caja de cambios.

En el momento que el piloto acciona la palanca del embrague, vence a los muelles y consigue una separación parcial o total de los discos desacoplando el giro del cigüeñal y la caja de cambios.

Figura 91. Explosionado embrague

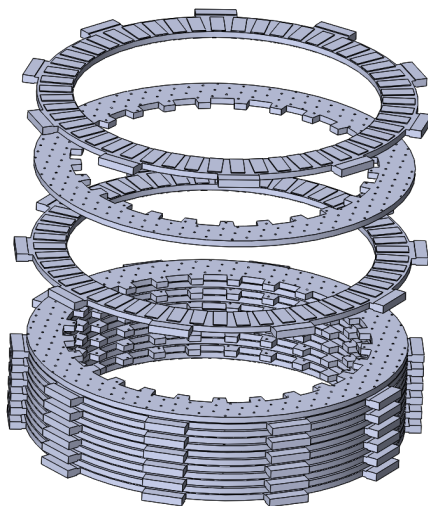


Nota. Elaboración propia

En los siguientes subapartados se muestran los componentes modelados por el autor que construyen el embrague: Los discos con ferodo y separadores, la canasta, la campana y el plato empujador

6.5.1. Discos con ferodo y separadores

Figura 92. Modelado de los discos con ferodo y separadores



Nota. Elaboración propia

Figura 93. Vista de los discos con ferodo y operaciones realizadas.

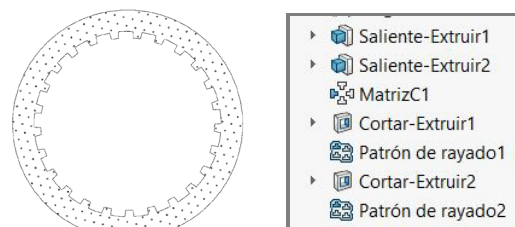
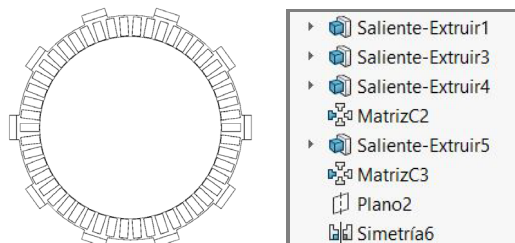
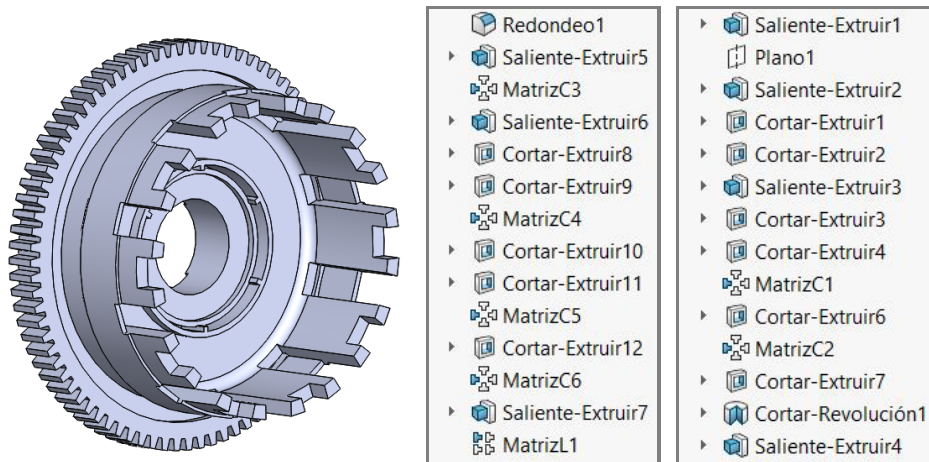


Figura 94. Vista de los discos separadores y operaciones realizadas.



6.5.2. Canasta

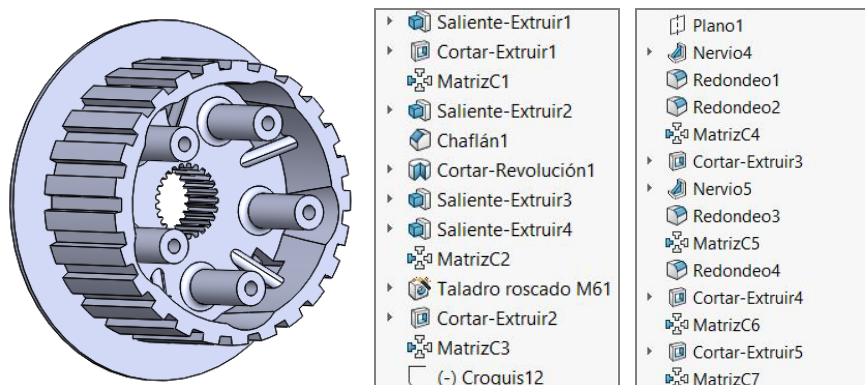
Figura 95. Modelado final de la canasta y operaciones realizadas para su modelado



Nota. Elaboración propia

6.5.3. Campana

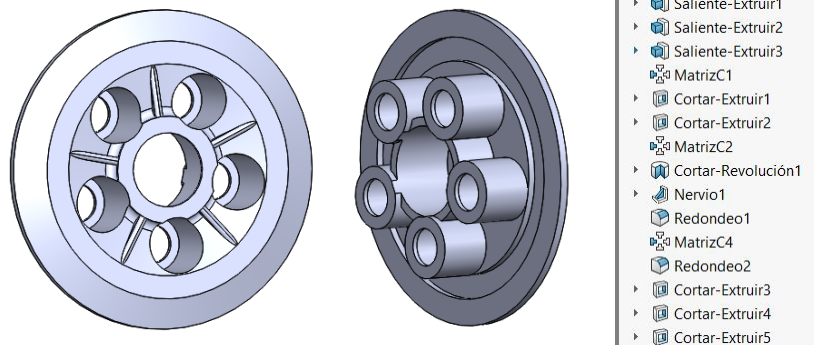
Figura 96. Modelado final de la campana y operaciones realizadas para su modelado



Nota. Elaboración propia

6.5.4. Plato empujador

Figura 97. Modelado final del plato empujador y operaciones realizadas para su modelado

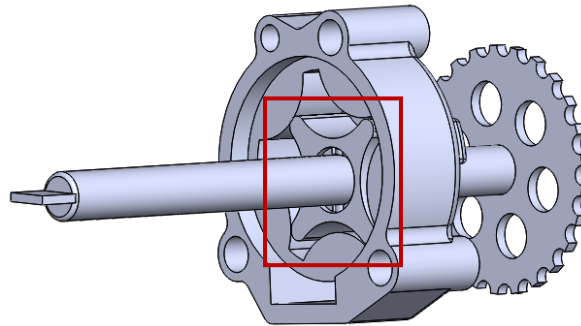


Nota. Elaboración propia

6.5.5. Bomba de aceite

La bomba de aceite se encarga de aportar una presión de lubricante en función de las revoluciones del motor.

Figura 98. Modelado final de la bomba de aceite

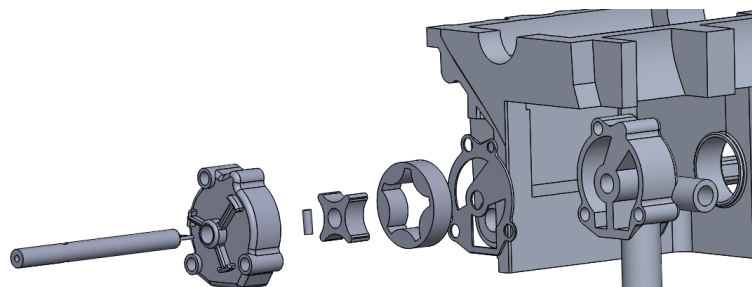


Nota. Elaboración propia.

En este motor tenemos una bomba de aceite de lóbulo. El rotor interno tiene un lóbulo menos para hacer rotar al externo. En ese movimiento de rotación el aceite es absorbido desde el cárter, pasando por un filtro e ingresando a la zona de admisión de aceite.

El espacio entre lóbulos aumenta cuando pasa por dicha zona, por lo cual el aceite se inserta en estos transportándolo a la de zona compresión donde los espacios entre lóbulos son menores, provocando un aumento de presión y expulsando el aceite al circuito de lubricación del motor.

Figura 99. Explosionado de la bomba de aceite

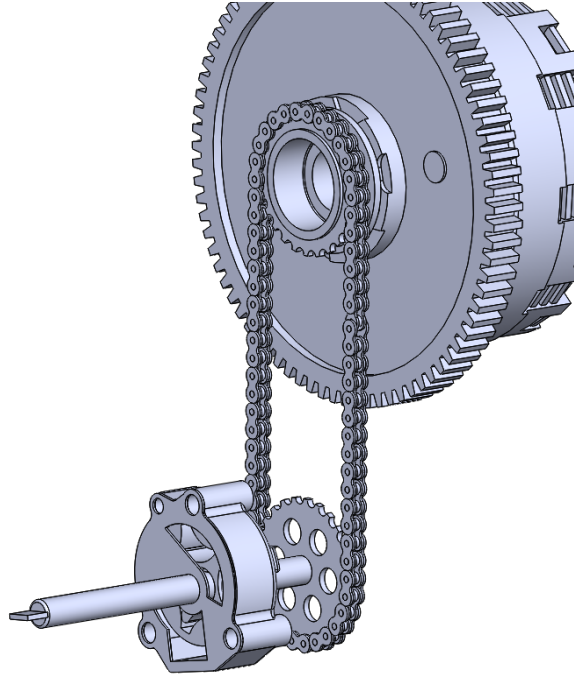


Nota. Elaboración propia

El eje que gira el lóbulo está acoplado a un engranaje que mediante una cadena esta unido a su vez con el giro del embrague.

A su vez este eje se acopla al eje de la bomba de agua aprovechando el giro de la bomba de aceite para hacer funcionar la bomba de agua.

Figura 100. Unión Bomba de aceite con el eje primario



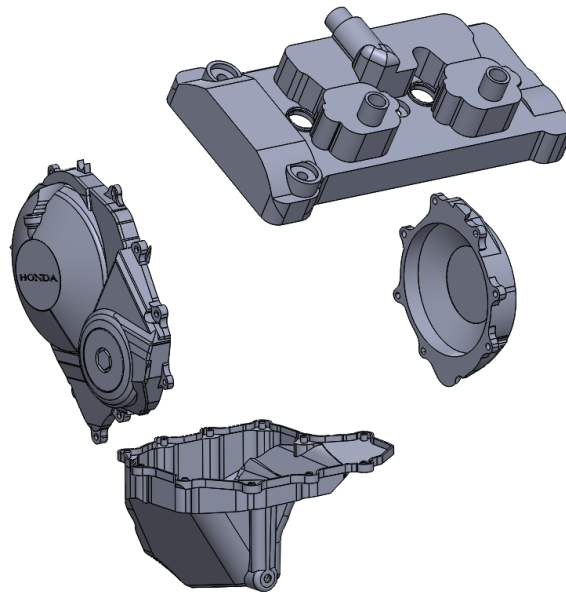
Nota. Elaboración propia

En este caso no se ha modelado la bomba de agua ya que en el M23RT se suprimió la bomba mecánica debido a que le aporta pérdidas mecánicas al motor y no se puede controlar el caudal en función de la temperatura. Por esta razón contamos con dos bombas eléctricas de gran caudal regulado mediante la ECU en función de la temperatura del motor.

6.6. Tapas de motor y cárter

El motor está compuesto por varias tapas que tienen funciones diferentes, no solo la de mantener el lubricante contenido en el interior, sino que también albergar y proteger componentes importantes.

Figura 101. Tapas del motor y Cárter



Nota. Elaboración propia

6.6.1. Cárter

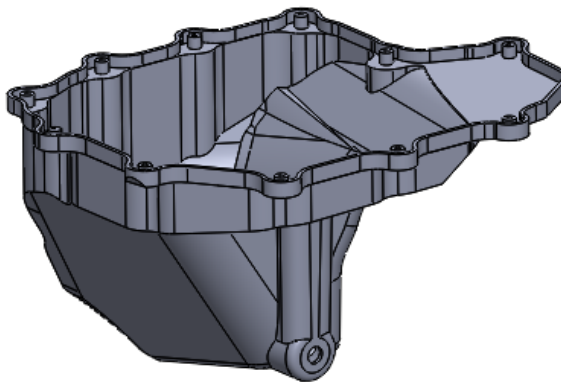
La función del cárter es contener el lubricante, en este caso aceite de motor Motul 7100 10w40.

Al estar en la zona inferior del motor todo el líquido se deposita en el por la gravedad y el diseño de este, mientras se va acumulando la bomba de aceite va absorbiendo dicho lubricante para repartirlo de nuevo al resto del motor.

También dispone de un tornillo de drenaje en la zona más baja de este con un imán que recoge todas las virutas de metal que va desprendiendo el motor con el uso.

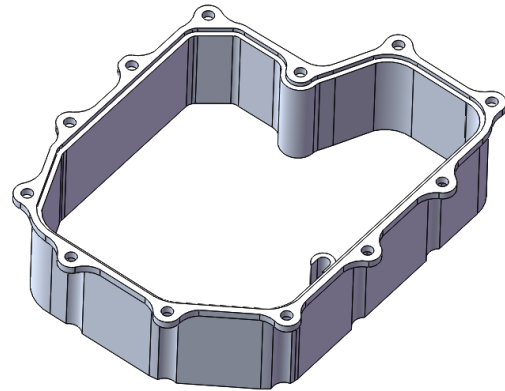
En el motor de serie el cárter que se usa es bajo y picudo para tener la boca de la bomba de aceite siempre sumergida.

Figura 102. Modelado final del cárter original



Nota. Elaboración propia

Figura 103. Modelado final del cárter del motor M23RT



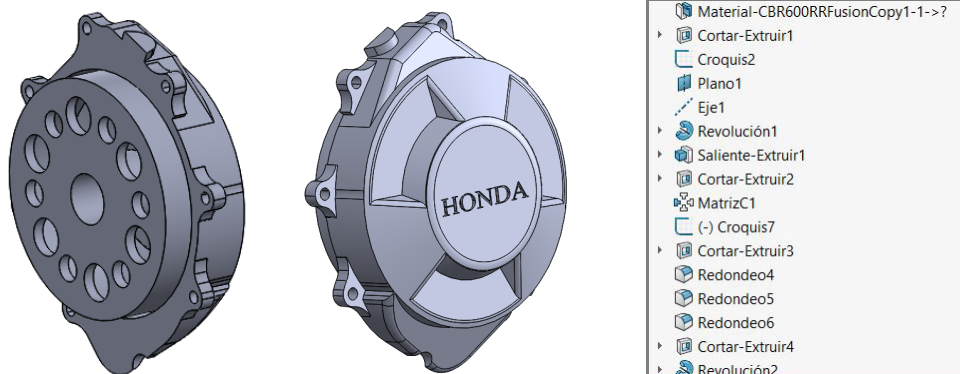
Nota. Imagen cedida del equipo Formula Student Málaga

En el caso del motor del M23RT se ha diseñado un cárter especial en aluminio mecanizado con un diseño más plano, de mayor anchura, aunque manteniendo el mismo volumen que el de serie. Esta modificación sirve para localizar el motor a menor cota de tal manera que se logre conseguir un centro de gravedad más próximo al suelo.

6.6.2. Tapa lateral izquierda (alternador).

Esta tapa se encarga de soportar el bobinado del estator para mantenerlo fijo y centrado con respecto al giro del rotor magnético que gira al unísono del cigüeñal.

Figura 104. Modelado final de la tapa lateral izquierda y operaciones realizadas para su modelado

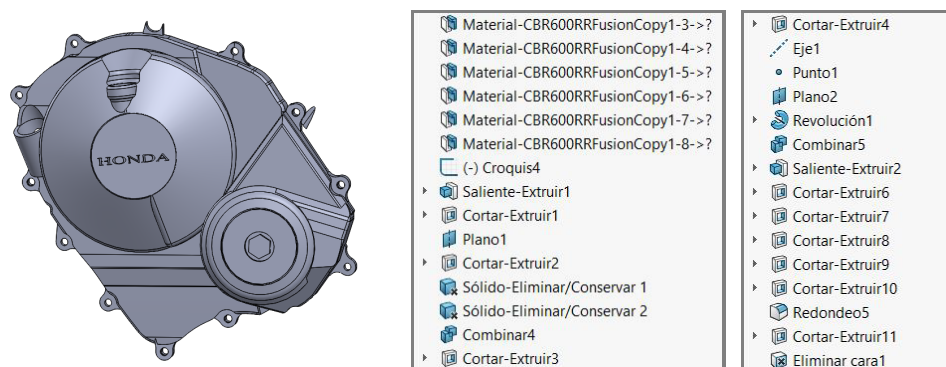


Nota. Elaboración propia.

6.6.3. Tapa lateral derecha (embrague)

En el lado derecho tenemos una tapa algo más compleja con más anclajes. En esta tapa podemos encontrar el sensor del pick-up que es el encargado de mandarle una señal a la ECU para disparar la chispa de las bobinas, este sensor se alimenta de la rueda dentada acoplada al bendix. También tenemos un acople de uno de los engranajes del sistema de arranque para mantener el eje fijo en su sitio.

Figura 105. Modelado final de la tapa lateral derecha y operaciones realizadas para su modelado



Nota. Elaboración propia

El tapón de llenado también se encuentra en esta tapa, el cual usamos para llenar motor de lubricante que en este caso serían 3,5 litros si no cambiamos el filtro de aceite, si no es el caso y cambiamos el filtro de aceite entonces tendremos que añadir 3,8 litros, por último, caso podría pasar como esta situación en la que rehacemos el motor entero desmontándolo hasta la última pieza así que se tendría que añadir 4,0 litros.

Por último, y quizás la función más importante, es la de albergar el eje de la palanca de embrague, esta se encarga de empujar el plato del embrague para vencer la fuerza de los muelles y así conseguir embragar.

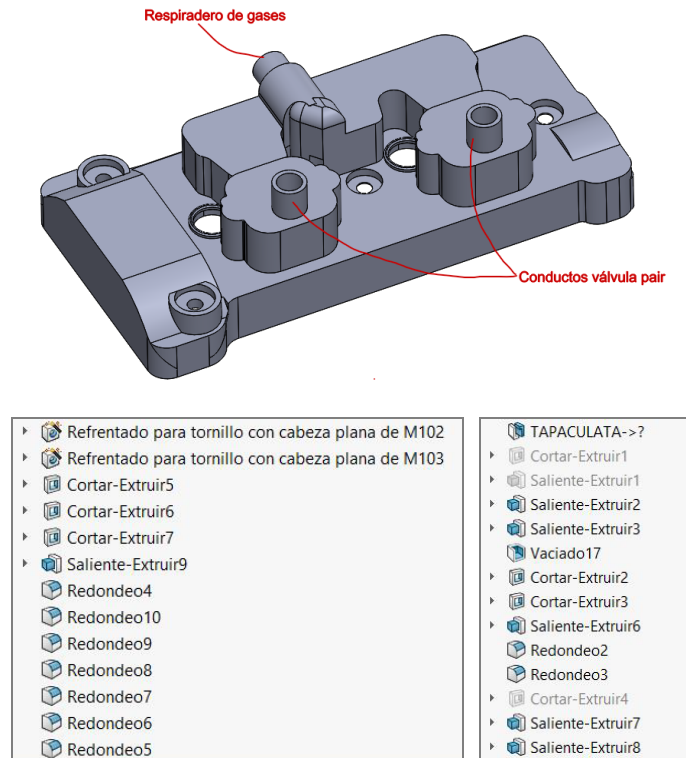
6.6.4. Tapa de culata

La tapa de culata presenta varias funciones.

La primera sería la de tapar la parte superior de la culata donde giran los árboles de levas y todos los elementos de esta zona. Como consecuencia, la primera función es

principalmente la de mantener el aceite que sale impulsado en la zona, por ello se encuentra atornillada a la culata con una junta de goma que recorre todo el perímetro.

Figura 106. Modelado final de la tapa de la culata



Nota. Elaboración propia

La segunda tarea sería la de desahogar todos los vapores internos de la culata. Estos gases pueden ser gases de la evaporación del lubricante, que al desahogarlos se evita que aumente la presión en el interior. Para este fin existe una abertura situada en la parte superior de esta tapa conectada a un tubo. En el caso del M23RT va a un depósito de residuos mientras que en el original de la motocicleta se dirige directamente a la caja del filtro de aire para que estos gases sean quemados en el proceso de combustión.

La última utilidad de la tapa es la de inyectar aire frío a la cámara de combustión proveniente de la válvula PAIR, de esta manera se consigue bajar la temperatura de los gases de escape pudiendo cumplir con la normativa vigente. En el caso del M23RT, al ser un vehículo de competición, esta apertura se encuentra cerrada con el objetivo de obtener un mayor rendimiento del motor.

7. Funcionamiento conjunto

A la hora de hacer un gemelo virtual lo más próximo a la realidad se necesita una continua toma de medidas lo más precisas posibles, el problema que conlleva esto es el error humano y de la herramienta de medida a la hora de realizar estas medidas. Por lo tanto, para conseguir una gran precisión es necesario ajustar las medidas asumiendo un error asegurado.

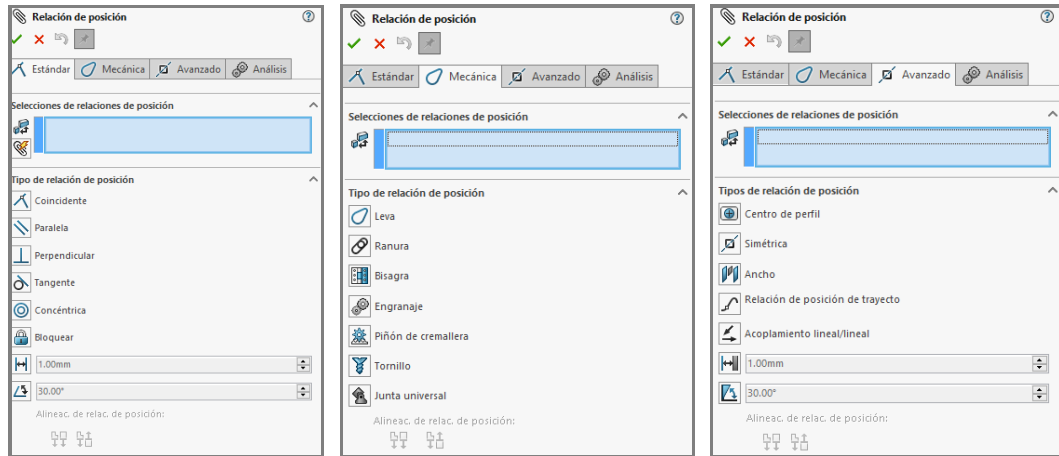
Para realizar un modelo con este error sin elaborar unas relaciones de posición y manteniendo los elementos fijos en el espacio de trabajo, el proceso de modelado sería mucho más fácil y rápido. Por el contrario, para conseguir que todos los elementos están creados en referencia unos con otros y así conseguir un estudio de movimiento completo y real complica en exceso la tarea requiriendo una gran cantidad de tiempo editando la geometría del elemento y sus relaciones de posición además de un consumo de cálculo computacional desorbitado.

En total para la realización de este trabajo se ha invertido unas 500 horas de modelado incluyendo la toma de medidas, alrededor de 200 horas de sincronización de los elementos unos con otros editando sus geometrías y asumiendo pequeños errores, unas 20 horas para conseguir vistas adecuadas para su representación y por último se ha tenido que invertir en un ordenador domestico de gran rendimiento ya que es completamente necesario para trabajar correctamente.

Una vez mostrado el conjunto completo y sus subensamblajes se explicará el procedimiento que se ha usado para conseguir la sincronización de todos los elementos y así elaborar un modelo capaz de representar los movimientos mecánicos que realiza el motor real.

Para este fin usamos todas las relaciones de posición que nos permite usar SolidWorks:

Figura 107. Relaciones de posición existentes en SolidWorks



Nota. Captura de pantalla extraída de la interfaz de SolidWorks. Elaboración propia

En total el modelo completo cuenta con unas 280 relaciones de posición para conseguir que todos los elementos tengan su posición completamente definida y son elementos móviles, el desplazamiento sea real y sincronizado con el resto.

Las relaciones de posición estándar más usadas son coincidentes y concéntrica al ser normalmente ejes que giran. En el caso de las mecánicas son la de leva para los árboles de levas con las válvulas y engranaje lógicamente para la caja de cambios junto con otros engranajes de los que dispone el motor. Otra relación muy usada sería “ancho” del apartado avanzado, para conseguir que los elementos se mantengan a una distancia fija de otros, estas distancias se han tomado del modelo real suprimiendo así el máximo error posible.

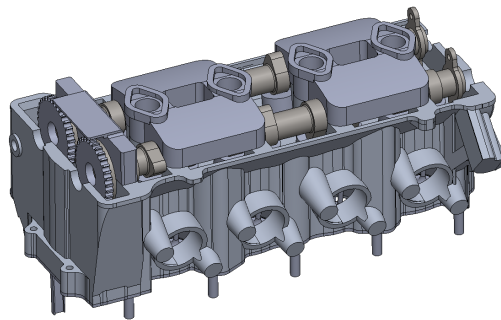
SolidWorks es una herramienta muy versátil y para conseguir el mismo resultado se puede seguir caminos muy diferentes, todo esto depende la manera de modelar de cada usuario y la eficiencia de trabajo que tenga el mismo.

Para entender mejor el funcionamiento del modelo se van a explicar brevemente las relaciones de posición que tiene cada elemento con respecto a los demás.

7.1. Culata

Este elemento es posiblemente el más complejo de modelar ya que sus medidas son muy precisas y consta de muchos ángulos difíciles de conseguir. Para que todo funcione correctamente partimos de una pieza modelada según la real con sus aberturas y agujeros hechos, después todas sus piezas internas se han modelado teniendo en cuenta las medidas reales, pero ajustándolas geométricamente a sus aperturas y agujeros hechos en la culata.

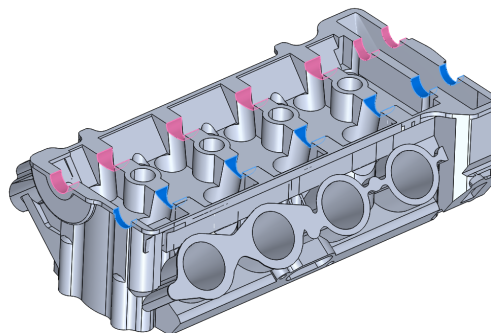
Figura 108. Ensamblaje parcial de la culata



Nota. Elaboración propia

El primer paso fue ajustar los árboles de levas a la bancada mecanizada en la culada, como en la vida real para mecanizar el hueco de la culata donde se apoya el árbol de levas se mecaniza con una broca pasante todo el hueco y así conseguir que el árbol encaje completamente bien y ningún apoyo reciba más carga que los demás.

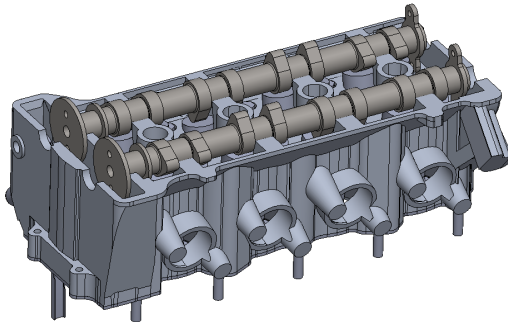
Figura 109. Relación de posición arboles de levas con la culata



Nota. Elaboración propia

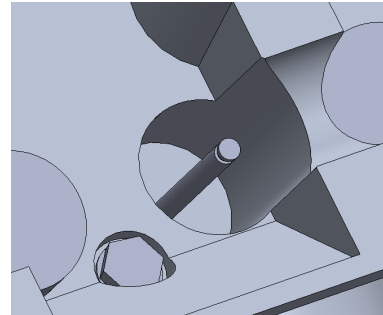
Una vez tenemos los asientos, añadimos los árboles de levas con una relación de posición concéntrica con el hueco generado por el mecanizado y lo mantenemos en una posición relativa con respecto a la culata con él usando la relación “ancho”.

Figura 110. Ensamblaje de la culata sin torretas



Nota. Elaboración propia

Figura 111. Inserción de la válvula

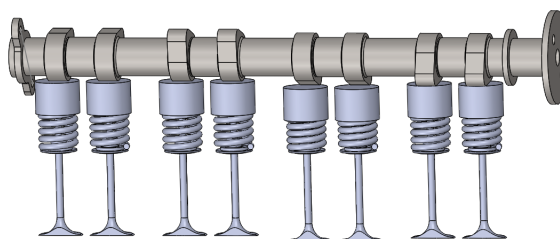


Nota. Elaboración propia

Tendiendo los árboles en su posición y con el giro libre manteniendo su movimiento axial bloqueado, pasamos a acoplar las válvulas en su posición usando la relación de posición concéntrica con el hueco que se creó anteriormente obtenido de las medias del motor real.

Posteriormente, añadimos todos los elementos que consiguen hacer que la válvula se abra con el empuje de la leva y vuelva a su posición de reposo.

Figura 112. Conjunto de válvulas relacionadas con el árbol de levas



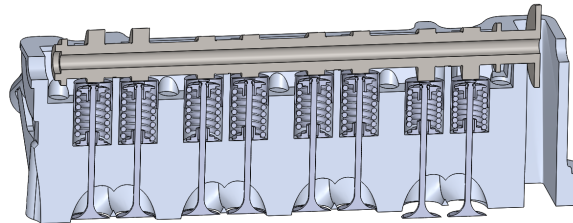
Nota. Elaboración propia

Para conseguir el movimiento deseado usamos la relación de posición “leva” entre la superficie del casquillo y de la leva, el casquillo a su vez va coincidente con la pastilla calibrada y esta a su vez coincidente con la válvula, consiguiendo así que el

desplazamiento del casquillo empujado por la leva se transmita a la válvula y abriendo esta.

Los muelles en este modelo se deforman consiguiendo así una fidelidad bastante alta con respecto a la realidad. Se ha conseguido gracias a que el modelo del muelle tiene relaciones geométricas con respecto al ensamblaje y no es una pieza externa. Esto conlleva una carga computacional muy alta ya que tiene que estar variando la geometría de la pieza a medida que gira el árbol de levas y generando errores y caídas del programa, por tanto, se ha suprimido el muelle en el ensamblaje general.

Figura 113. Sección del ensamblaje culata, árbol de levas y conjunto de válvulas

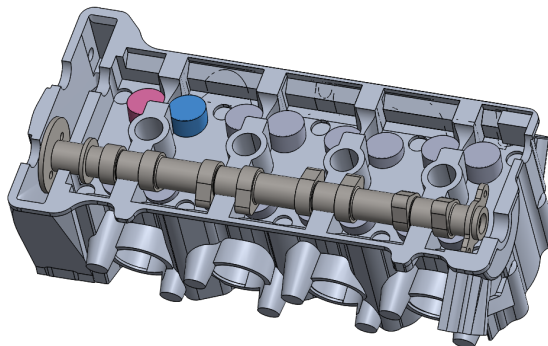


Nota. Elaboración propia

Todos estos elementos tienen una relación de posición concéntrica como la válvula para que solo puedan moverse linealmente como en la realidad.

Este motor dispone de 16 válvulas, 8 para escape y 8 para admisión, para insertar todas en el modelo se ha usado las herramientas de simetría y matriz lineal para añadirlas de una forma más rápida, aunque cada cilindro debe tener su propio conjunto individual ya que si no todas las válvulas se moverían a la vez que la original de la simetría.

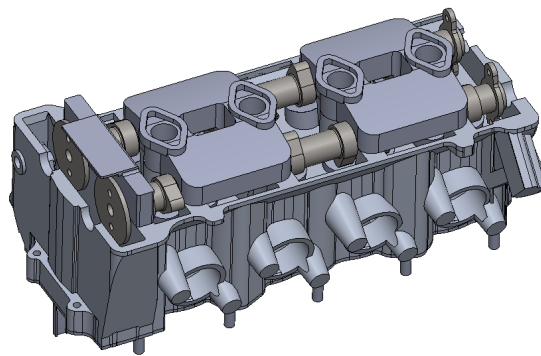
Figura 114. Operación de simetría para las válvulas



Nota. Elaboración propia

Terminada la parte más compleja de la culata se pasa a los elementos de sujeción de los árboles de levas. Estos elementos están modelados con las medidas del motor real y no realizan ningún movimiento, por lo tanto, solo se han acoplado a la culata con relaciones de posición coincidente con el plano superior de esta y concéntrica al hueco de las bujías. La pieza que soporta la zona donde engrana la cadena de distribución al igual que las otras se ha usado una relación de posición coincidente y se ha ajustado su posición con los árboles de levas y las coronas de estos.

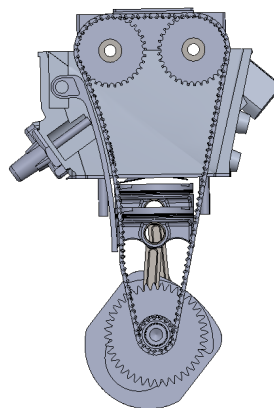
Figura 115. Ensamblaje completo de la culata



Nota. Elaboración propia

Por último, en lo que a la culata se refiere, tenemos los engranajes de los árboles de levas que sirven para sincronizar la distribución y que las válvulas se abran y cierren a tiempo con respecto al cigüeñal. Estos engranajes están colocados en una posición concreta con unas marcas especiales para hacer el calado de distribución en el motor real.

Figura 116. Sección para la representación de la distribución



Nota. Elaboración propia

Para sincronizar la distribución en el modelo tenemos varias opciones para hacerlo:

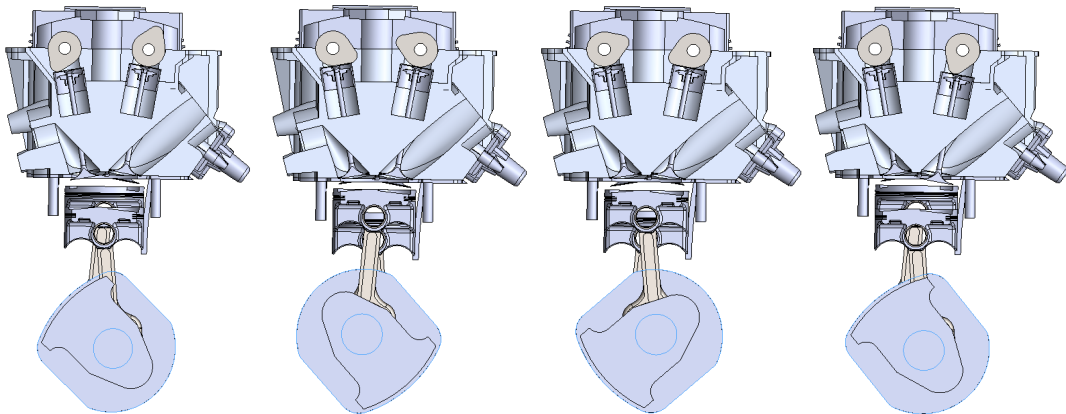
- Usando la relación de posición engranaje con respecto al engranaje del cigüeñal
- Usando la operación de ensamblaje correa/cadena para los engranajes de los árboles y el cigüeñal

Junto a estas hay algunas formas más, pero se ha utilizado la primera ya que es la más sencilla a la hora de calar la distribución. Para hacerlo se suprime la relación de posición y se coloca el pistón en punto muerto superior, entonces se colocan las levas en el punto exacto justo antes de abrir la admisión en este caso y se sincroniza con los ángulos que nos dice el manual. Una vez hecho esto se desactiva la supresión y ya tenemos sincronizada la distribución.

Como apunte se elige en las opciones una relación 1:2 ya que el cigüeñal gira dos veces con un giro del árbol de levas.

Con esto tenemos los cuatro tiempos definidos: Admisión-Compresión-Explosión-Escape.

Figura 117. Admisión-Compresión-Explosión-Escape

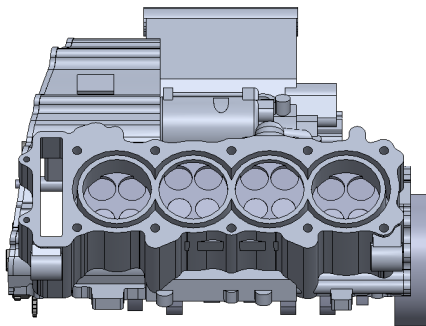


Nota. Elaboración propia

7.2. Bloque superior

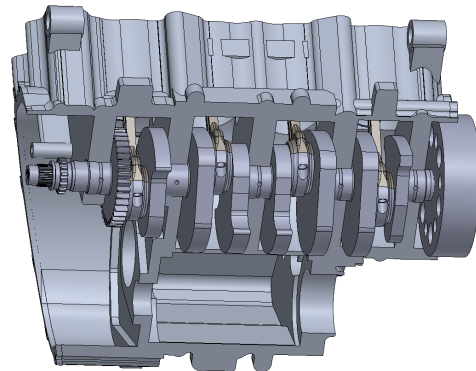
Esta parte del motor es en la que se basa todo el modelo a la hora de colocar los elementos. Como se ha comentado anteriormente la base de todas las referencias son las camisas de los cilindros. Estos agujeros, cuyo centro se ha medido varias veces y de varias maneras para que sea lo más cercano a la realidad, son los que marcan la posición de los pistones y por lo tanto del cigüeñal, pero no solo es la referencia de elementos del bloque superior, sino que también lo es del centro del hueco de la bujía en la culata y con esta referencia se ha modelado todos los agujeros de las válvulas y las aberturas para la entrada y salida de gases.

Figura 118. Ensamblaje bloque superior y pistones-cigüeñal, vista superior



Nota. Elaboración propia.

Figura 119. Ensamblaje bloque superior y pistones-cigüeñal, vista inferior



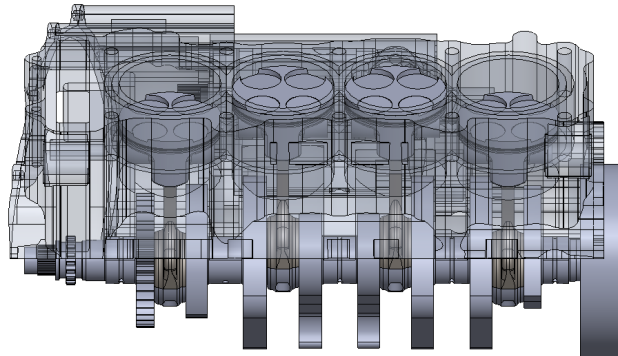
Nota. Elaboración propia.

Una vez tenemos los pistones con una relación de posición concéntrica con la camisa del cilindro ponemos y unimos el cigüeñal a este para ver en qué posición se queda para poder hacer la bancada superior donde acoplarían los cojinetes del cigüeñal en el motor real.

Por lógica y como está diseñado el motor real, el centro del eje de giro del cigüeñal tiene que estar justo en la unión entre el bloque superior y el bloque inferior. Tras de haber dejado el cigüeñal en su lugar y comprobando las medidas con el motor real, podemos hacer una extrusión corte donde acoplaremos el cigüeñal con una relación de

posición concéntrico y bloquearemos su movimiento axial con las relaciones que hemos creado en el conjunto pistón-biela-cigüeñal.

Figura 120. Ensamblaje bloque superior y pistones-cigüeñal, vista con transparencia



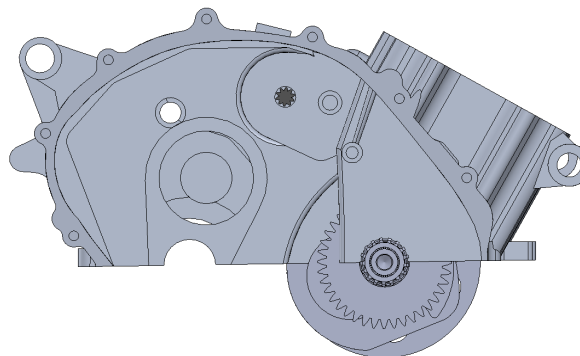
Nota. Elaboración propia.

Una vez tenemos el cigüeñal en su sitio hacemos las operaciones necesarias en el interior del bloque para dejar la geometría lo más real posible siguiendo la toma de medidas.

La sincronización del cigüeñal con las válvulas queda definida con las relaciones descritas en el punto anterior.

Para conseguir arrancar el motor se necesita un motor eléctrico conectado a la batería que hace girar el cigüeñal. Una vez arrancado el cigüeñal queda desconectado de este motor mediante el embrague de arranque o también llamado bendix.

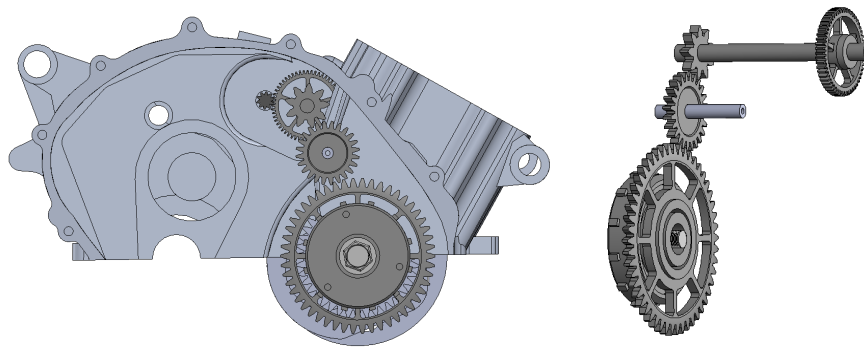
Figura 121. Ensamblaje bloque superior y pistones-cigüeñal vista lateral derecho



Nota. Elaboración propia.

En el acople del motor de arranque ya se tiene la posición de su piñón y a partir de este se acoplan los engranajes que transmiten este movimiento al cigüeñal. Estos engranajes se modelan directamente de las piezas sacadas del motor real y se acoplan según las medidas obtenidas en este, para las relaciones de posición usamos la relación de engranajes para unir sus giros, pero ya que el motor de arranque es un sólido y su engranaje forma parte del bloque superior queda anulado este movimiento y será solo una representación visual de este conjunto.

Figura 122. Ensamblaje bloque superior y pistones-cigüeñal, vista lateral derecho con arranque



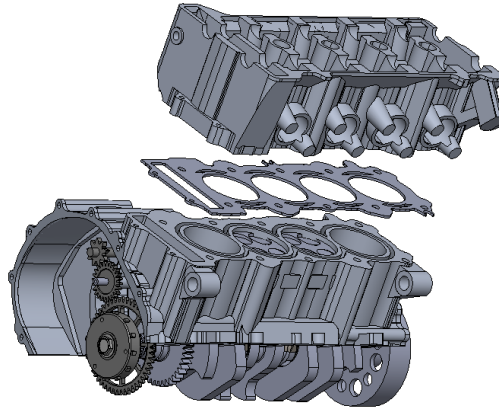
Nota. Elaboración propia.

En la unión del bloque inferior con la culata se instala una junta de culata, este elemento, como se ha hablado en un punto anterior, está hecho de varias capas metálicas que se deforma lo suficiente al atornillar la culata al bloque para mantener la estanqueidad en el interior de los cilindros.

En este caso la junta de fabrica es de 0,6mm de espesor, pero en el caso del M23RT es de 0,4mm para aumentar la relación de compresión. En este modelo se ha tomado un espesor de 2,7mm para que sea más representativo visualmente y se ha planeado la superficie de los cilindros para mantener la geometría de la cámara de combustión igual que la real.

A la hora de ensamblar este elemento es tan sencillo como usar dos relaciones de posición concéntrica de dos cilindros y una relación de coincidente en las superficies tanto del bloque como de la culata. Aun así, la junta de culata no interfiere en el funcionamiento ya que los bloques y la culata están en una posición fija.

Figura 123. Ensamblaje del conjunto bloque inferior con la culata

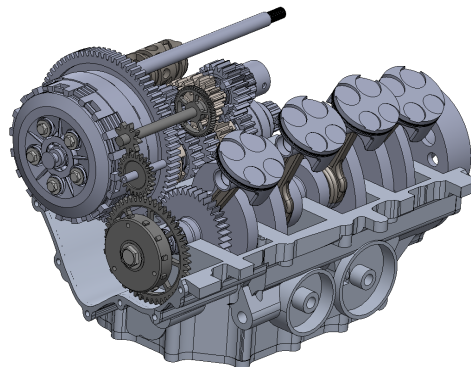


Nota. Elaboración propia.

7.3. Bloque inferior

Modelar el bloque inferior es relativamente más sencillo que el superior ya que se parte teniendo los elementos como el cigüeñal y los huecos para la caja de cambios ensamblados en su lugar exacto, por lo tanto, solo requiere tomar medidas y hacer las operaciones necesarias. Este bloque no interviene en la dinámica de los mecanismos internos y solo tiene función de sustentar la bomba de aceite.

Figura 124. Ensamblaje bloque inferior, caja de cambios, arranque y conjunto pistones-cigüeñal



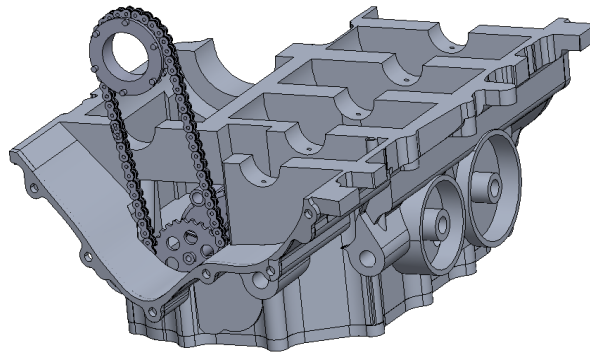
Nota. Elaboración propia.

Teniendo el cigüeñal en su sitio, se hace una extrusión corte para crear la bancada donde esté acoplado con sus cojinetes. El cigüeñal no tiene ninguna relación de posición con el bloque inferior ya que se estaría definiendo en exceso y no aporta nada al modelo.

Lo mismo pasa con la caja de cambios, la cual se hablará en un punto posterior, esta no tiene relaciones de posición con el bloque inferior y solo sirve para modelar los huecos donde van los rodamientos.

Con respecto a la bomba de aceite, es el único elemento que sustenta el bloque inferior a nivel de relaciones de posición.

Figura 125. Acople bomba de aceite en bloque inferior

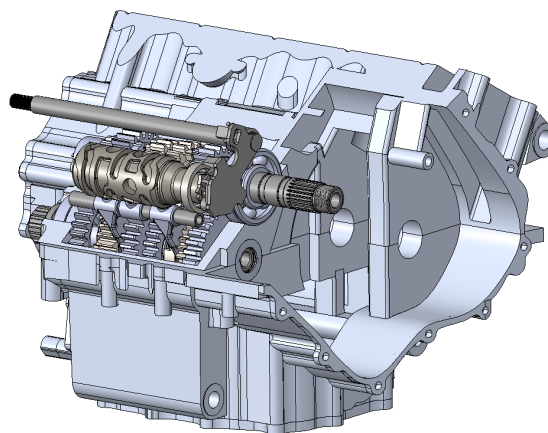


Nota. Elaboración propia.

7.4. Caja de cambios

Partimos de una caja de cambios modelada de un CBR600F4 que comparte las mismas relaciones de transmisión con la diferencia de que el selector se encuentra en una posición entre el cigüeñal y los ejes. En el caso de la CBR600RR tiene estos elementos en la parte trasera del bloque, por lo tanto, se han adaptado para hacerlos compatibles.

Figura 126. Sección de los bloques para la visualización de la caja de cambios



Nota. Elaboración propia.

En un principio se quería conseguir cambiar la marcha engranada directamente sobre el modelo, pero SolidWorks tiene limitaciones en las relaciones de posición para este fin y por tanto se ha mantenido engranada una sola marcha de manera fija.

Para la implantación de la caja de cambios en el modelo partimos de la posición original del embrague en el motor real, ya que este se encuentra engranado al cigüeñal y en un punto exacto del bloque. A partir de aquí se hacen los agujeros donde van insertados los rodamientos.

Una vez tenemos la caja de cambios en su sitio se acoplan los periféricos como la palanca del cambio y el selector.

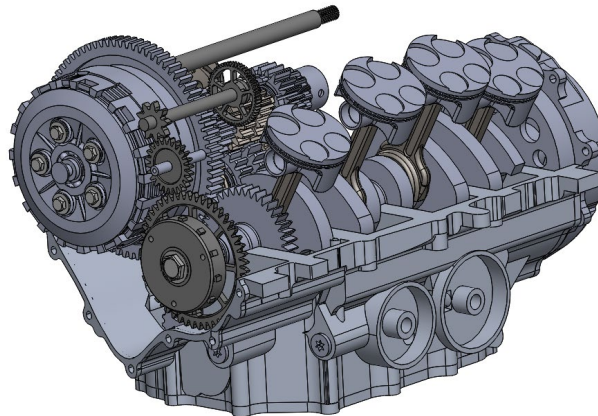
Para que la representación sea didáctica, se ha engranado una tercera marcha y para ello se han elegido relaciones de posición engranaje para unir estos engranajes y así cuando se hace el estudio de movimiento el eje secundario transmite la velocidad del cigüeñal con la relación de transmisión seleccionada.

7.5. Embrague

En este modelo se ha modelado un embrague con un error menor a 0,1mm ya que es una pieza de revolución, simétrica y fácil de tomar medidas. El objetivo principal de este subensamblaje es conseguir el funcionamiento real de un embrague de discos húmedos y la posibilidad de acoplar y desacoplar los discos mediante el accionamiento de una acción externa como puede ser el movimiento de una palanca.

Sin embargo, una vez modelado el conjunto solo se ha conseguido que el modelo resulte meramente visual y no dinámico. Su única función en el ensamblaje completo es la de transmitir el giro del cigüeñal al eje primario de la caja de cambios como se ha descrito en un anterior punto.

Figura 127. Conjunto de la figura 110 completamente relacionado

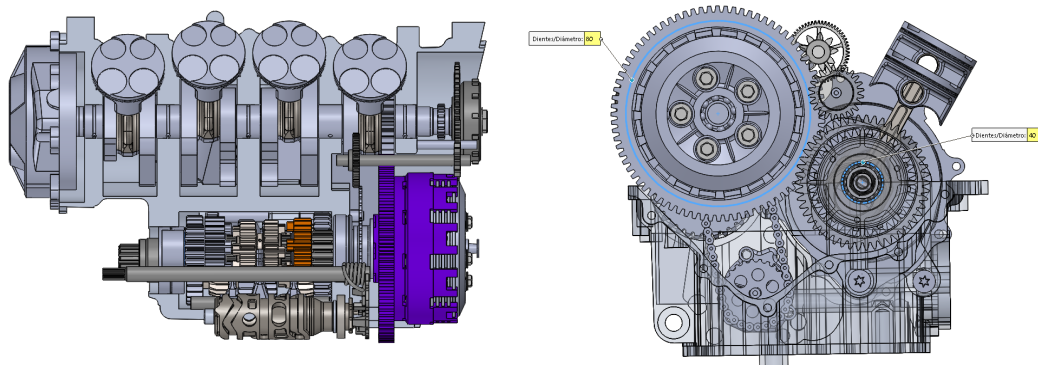


Nota. Elaboración propia.

Como resultado final se mantiene el embrague en posición de acoplamiento, es decir, no se está actuando con ninguna fuerza sobre los muelles y por tanto estos están manteniendo los discos unidos a los separadores, esto se traduce en una transmisión completa del giro del cigüeñal al eje primario de la caja de cambios.

Para conseguir este resultado la corona del embrague y la del cigüeñal están unidas mediante una relación de posición engranaje, simplificando así la carga computacional ya que directamente este giro de la corona del embrague está bloqueado con el giro del eje primario gracias a una relación de posición bloquear

Figura 128. Relaciones de posición del embrague



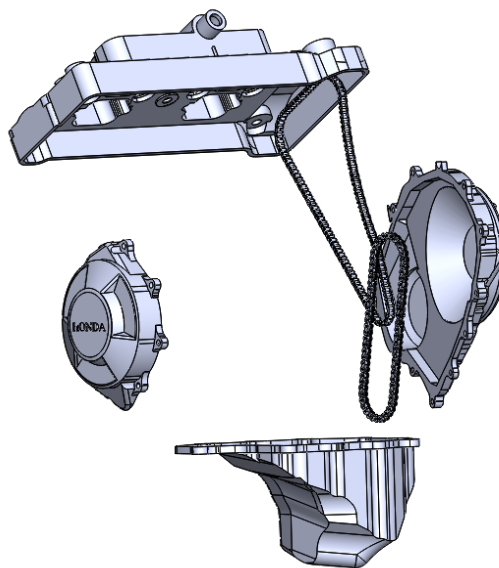
Nota. Elaboración propia.

En un futuro se podría investigar herramientas alternativas para conseguir un funcionamiento de este elemento completamente real.

7.6. Elementos representativos

En el diseño de este modelo también se han añadidos elementos que no intervienen en el estudio de movimiento y sirven para tener una representación lo más real posible. Estas piezas son las tapas laterales, tapa de culata, cárter y cadenas internas.

Figura 129. Elementos representativos



Nota. Elaboración propia.

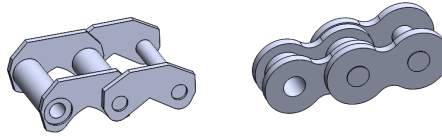
Con respecto a las tapas y cárter las únicas relaciones de posición que requieren son las de coincidente con las respectivas superficies donde se acoplan y concéntrica de al menos dos agujeros de los tornillos para su anclaje.

Las cadenas son elementos muy importantes en el motor real ya que transmiten el movimiento a la bomba de aceite y también son las responsables del giro sincronizado del cigüeñal con los árboles de levas.

Para su modelado se siguen los mismos pasos para ambas cadenas:

- Se modela una pareja de eslabones

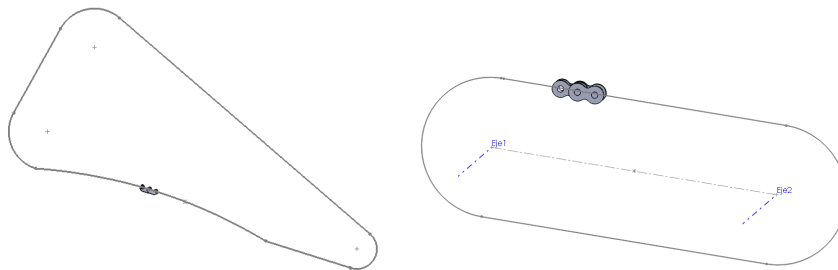
Figura 130. Eslabón de distribución y de bomba de aceite



Nota. Elaboración propia.

- Se crea una trayectoria por dónde irán desplazándose.

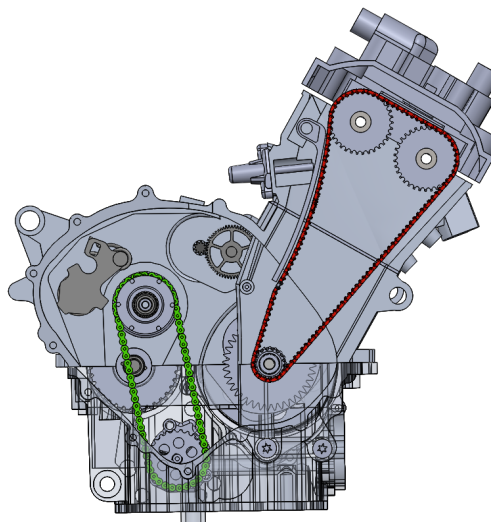
Figura 131. Trayectorias de las cadenas



Nota. Elaboración propia.

- Usando la herramienta “matriz de la componente de la cadena” se crea una cadena completa usando la opción ruta de relleno

Figura 132. Relleno de las trayectorias con eslabones



Nota. Elaboración propia.

SolidWorks permite también la sincronización de la cadena con los engranajes mediante la relación de posición engranaje, haciendo que esta se mueva con el empuje de los dientes sobre la pista de los eslabones.

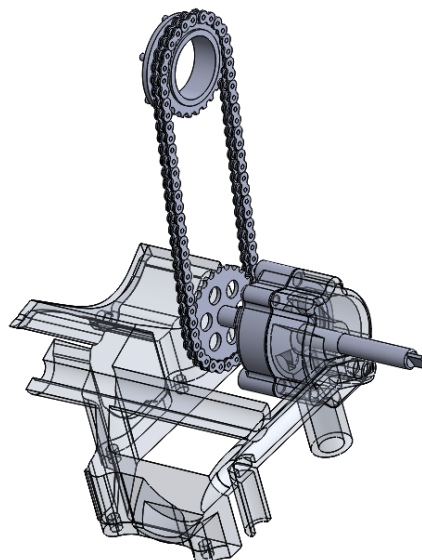
Al ser un modelo con un cierto error en las medidas ya que no se tienen planos de fabricación resulta imposible obtener una trayectoria exacta que sea rellenada al completo de eslabones y por tanto cuando esa incongruencia se encuentra con los dientes del engranaje crea un error que bloquea el movimiento.

Por lo tanto, la sincronización de los engranajes queda independiente del movimiento de la cadena para que el modelo resultante sea dinámico y valido para la docencia.

7.7. Lubricación

Este modelo consta de una bomba de aceite que simula el funcionamiento dinámico del motor real. Este elemento consta de dos bloques, uno en el que tiene en su interior dos engranajes de lóbulos y otro forma parte de la fundición del bloque inferior. El primero esta atornillado al segundo y entre ambos pasa un eje solidario al engranaje de lóbulo interior quedando el engranaje exterior libre para moverse con el empuje del interior.

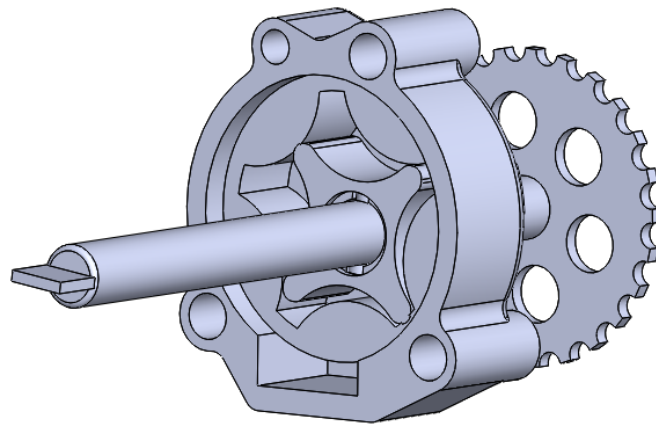
Figura 133. Ensamblaje bomba de aceite



Nota. Elaboración propia.

Para conseguir el movimiento de este eje, este se acopla a una corona engranada a otra que gira solidaria con el embrague. Se ha usado una relación engranaje para simplificar el modelo manteniendo la cadena como elemento representativo como se ha comentado en un punto anterior. También se ha bloqueado la rotación del engranaje interior de la bomba junto con el giro del eje representando el funcionamiento dinámico de esta.

Figura 134. Relaciones de posición del ensamblaje bomba de aceite



Nota. Elaboración propia.

Una vez se consigue tener giro en el engranaje interior se puede conseguir simular el movimiento real que tendría el lóbulo exterior siendo empujado por el interior con una relación de posición engranaje de 4:5.

8. Propuesta de mejora

En este apartado se va a hacer una recopilación de futuras mejoras para el motor objeto de estudio, estas mejoras vienen desarrolladas de varios años trabajando con este motor y de haber participado en varias competiciones europeas.

Con esta experiencia y con un modelo CAD suficientemente preciso se tiene la oportunidad de diseñar estos elementos directamente sobre el modelo del motor teniendo una geometría exacta y posibilidad de realizar simulaciones.

8.1. Sistema de lubricación por cárter seco

Un sistema de lubricación por cárter seco no necesita el almacenaje del aceite en un contenedor colocado en la parte inferior del motor, sino en un depósito exterior.

Para ello, se reduce el tamaño del cárter y mediante una bomba de vacío se lleva el aceite hasta un depósito auxiliar.

La lubricación mediante cárter húmedo funciona bien en una motocicleta dado que no está sometida a esfuerzos laterales. Un sistema de cárter seco necesita la implementación de: bombas de vacío de aceite y aire, separador de aceite y aire y un tanque recolector del aceite.

Las principales ventajas del cárter seco son:

- Reducir la altura del motor, mejorando así el centro de gravedad de este y del vehículo global.
- Asegurar el suministro de aceite y presión de manera constante sin verse afectado por pérdidas de presión debido a las aceleraciones laterales que sufre el vehículo durante su funcionamiento.
- Reduce la masa total de aceite necesaria en el sistema.
- Facilita la implementación de un intercambiador de flujo cruzado Aire-Aceite para la refrigeración de este.

- Adelantar la posición del tanque de aceite con respecto al centro de masas del vehículo.

8.2. Enfriador de aceite externo

Si la temperatura máxima alcanzada por el motor se ve incrementada será necesario mejorar el sistema de enfriado del lubricante. La implementación de intercambiadores de calor de flujo cruzado aire-aceite con aire forzado mejora la transferencia de calor.

Por otro lado, el motor presenta sensor de presión de aceite controlado por la Unidad de control electrónica (ECU) de la motocicleta. Un sensor de temperatura de aceite permite monitorizar el estado de este y apagar el motor en caso necesario de sobrecalentamiento por seguridad.

8.3. Bomba de agua eléctrica regulable mediante el control PWM

Anular la utilización de la bomba de agua mecánica que incorpora el motor y sustituirla por una bomba de agua eléctrica puede resultar en una mejora en el rendimiento. Permitirá a la unidad de control electrónico manejar en todo momento el flujo de agua en el sistema mediante un regulador de PWM en función de las lecturas de las temperaturas de agua.

Las mejoras del sistema de refrigeración puede ser una forma eficaz de combatir el calor adicional generado por la combustión al evolucionar el régimen de operación del motor.

8.4. Caja de Cambios

La reducción de engranajes en los ejes primarios y secundarios de la caja de cambios resultara en reducción de masa e inercias rotacionales. Consistirá en la implementación de nuevas relaciones de marchas con solo 2 o 3 posiciones.

8.5. Pistones de alta compresión aligerados

Implementación de pistones más ligeros y que produzcan más potencia. Son una mejora sencilla. Generan menor inercia de movimiento debido a tener menor masa.

Por otro lado, la construcción de pistones de aluminio forjado presenta rendimiento y durabilidad mejorada frente al proceso de fundición. Además de la posibilidad de implementar diseños de faldón más fuertes y diseños más tipo corona.

8.6. Actuación de embrague

Actuador de embrague mediante cilindro hidráulico, neumático o electrónico. De esta manera el tacto del embrague es más suave y preciso, teniendo la posibilidad de programar combinaciones con la ECU, también se elimina el sistema por cable que generaba problemas de funcionamiento.

8.7. Modificación del Bloque motor para la mejora del empaquetado

El diseño de la disposición de los componentes del motor CBR 600 RR comprende a las necesidades de anclaje y ergonomía de una motocicleta. Es por ello por lo que para el caso de un Formula Student esta no es lo más eficiente.

Esta disposición original obliga a:

- La necesidad de la implementación de un sistema de transmisión por cadena al eje trasero motriz.
- La colocación del motor en posición transversal al vehículo con la entrada de aire en la parte trasera y la salida de escapes en la parte delantera.
- Problemas de espacio y temperatura en la zona más cercana al piloto.

- Los cilindros constan de un Angulo de inclinación hacia adelante aumentando así el volumen total utilizado por el motor.
- Una caja de cambios de seis velocidades de las cuales únicamente 2 o 3 son necesarias.

Estas dificultades se pueden mejorar mediante:

- Caja de cambios de 2 o 3 velocidades con reducción total implementada para disminuir la distancia total del sistema de transmisión e invertir el sentido de giro de esta.
- La rotación del motor 180° con respecto al vehículo. Permite una salida de gases directa a la zona trasera mejorando la temperatura de los componentes cercanos y el chasis y mejor aprovechamiento del espacio entre piloto y motor.
- Inclinación de los cilindros perpendicular con el plano del suelo. Consiguiendo una reducción del volumen total ocupado por el motor.

8.8. Aligerado de piezas

Piezas del del ensamblaje motor comunes y estandarizadas como tornillería puede ser cambiadas por materiales de misma especificación con menor densidad, como pueden ser tornillería de titanio o colectores de escape.

La implementación de materiales compuestos, como la unión de aleaciones de aluminio y resinas compuestas con fibra de carbono resultan en un incremento de la resistencia mecánica y la rigidez, además de reducir peso global. Se pueden sustituir por las actuales carcasas o cubiertas del alternador o del embrague.

Se podrá aplicar en piezas que no están expuestas a altas temperaturas.

8.9. Combustible

La utilización de mezclas de combustibles como el E85 (85% etanol y 15% gasolina) en Formula Student es bastante común. Se pueden llegar a alcanzar mayores temperaturas y presiones en la cámara de combustión, sin producirse detonación, antes que la gasolina. De esta manera se consigue un aumento de rendimiento del motor. Se pueden alcanzar valores de 14:1 o 15:1 de relación de compresión con respecto a los 12:1 originales del motor.

Por otro lado, uso de etanol requiere de un mayor mantenimiento y limpieza de las líneas y elementos del sistema de combustible debido a la alta corrosión que genera este material, además de un mayor consumo debido a tener menor poder calorífico que la gasolina.

9. Futuras líneas de investigación

Una vez finalizado el modelo se han encontrado varias líneas de investigación posibles con el fin de mejorar este CAD haciéndolo más didáctico y útil. Para ello se han tenido en cuenta las limitaciones del software SolidWorks y posibles alternativas para llevar a cabo estas tareas.

- Realizar un subensamblaje cadena de distribución y cadena de bomba de aceite funcional. Al no tener acceso a los planos de diseño de los eslabones de dichos elementos resulta imposible realizar una trayectoria exacta por donde se desplazan los eslabones, por tanto, SolidWorks no es capaz de realizar la matriz de eslabones funcional correctamente quedando siempre un desfase entre el ultimo par de eslabones y el primero. Esto conlleva la imposibilidad de relacionar dinámicamente las cadenas con las coronas.
- Simular el movimiento real de la caja de cambios. Debido a la complejidad del modelo y a la limitación en los modos en los que SolidWorks relaciona los elementos ha resultado una tarea casi imposible conseguir simular el movimiento real del selector de la caja de cambios con el fin de cambiar de marcha accionando la palanca del cambio. Quizás con una buena combinación de relaciones de posición se pudiera conseguir, aunque probablemente sería más conveniente cambiar de software y usar por ejemplos ANSYS mechanical.
- Crear estudios de movimientos en los que el embrague sea activable mediante fuerzas externas. SolidWorks tiene la capacidad de generar movimientos dependientes del coeficiente de fricción y fuerzas normales a estas superficies, pero la elaboración de este estudio es compleja debido a que en este caso el embrague dispone de 8 discos de rozamiento y 7 separadores llevando al límite las capacidades de esta herramienta siendo necesario usar otra herramienta para este fin.

10. Conclusiones

Se ha conseguido elaborar un modelo en 3D a escala real de un motor de combustión para su uso educativo haciendo que su estudio de los componentes y su funcionamiento sea fácil de asimilar. Este motor se desmontó en 2019 en el taller de preparaciones ADM Motorsport bajo la supervisión de profesionales del sector con el objetivo de restaurar todos sus elementos deteriorados con el paso del tiempo y del uso, fue entonces cuando se aprovechó la necesidad de desmontar todas sus piezas para elaborar una lista de mediciones y croquis de todos estos elementos. Después se elaboró un modelo básico que se ha usado en el equipo MART de Formula Student para enseñar a los nuevos integrantes su funcionamiento real y como modelar piezas complejas en el software CAD SolidWorks. Este modelo también ha servido de referencia para la fabricación de los dos últimos vehículos de competición que ha construido el equipo con el que se han conseguido varios títulos en las competiciones internacionales a las que han participado.

A parte de la utilidad que ha tenido este modelo en el pasado y que tendrá en el futuro, ya que este proyecto seguirá siendo accesible para cualquier miembro del equipo, también ha sido la herramienta perfecta para el desarrollo completo de mis habilidades con el software y las herramientas usadas a lo largo del proceso.

Actualmente soy el jefe del departamento de potencia y mi función en el equipo es que el motor alcance el máximo rendimiento cumpliendo la normativa de la competición, por eso, tener este modelo a mi alcance hace que el trabajo sea más sencillo y que las mejoras ya explicadas en apartados anteriores se puedan diseñar con una base sólida junto con una precisión exacta.

11. Bibliografía

- 3Dnatives. (2022, octubre 26). *¿Es SOLIDWORKS el software de diseño ideal para fabricación aditiva?* 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/solidworks-software-de-diseno-fabricacion-aditiva-070520202/>
- Alexander, J. W. (2009). *Japan's motorcycle wars: an industry history*. UBC Press.
- García Sancho, A. (2019). *Manual para el diseño paramétrico con SolidWorks*.
- Historia de Honda. (s/f). Hondacanarias.com. Recuperado el 2 de enero de 2023, de <https://www.hondacanarias.com/motorcycles/historia>
- Honda Motor. (2017) *Owner Manual Honda CB600RR*
- Honda Motor Europe Limited Sucursal en España. (s/f). *Honda Motocicletas España*. Honda.es. Recuperado el 2 de enero de 2023, de <https://motos.honda.es/iconos-Honda/index.php?num=1>
- Moto del día: Honda Dream D-Type - espíritu RACER moto. (2020, enero 7). espíritu RACER moto. <https://motos.espirituracer.com/motodeldia/moto-del-dia-honda-dream-d-type/>
- SOLIDWORKS - Qué es y para qué sirve*. (2018, enero 26). SolidBI. <https://solidbi.es/solidworks/>
- Motorcycles — Measurement methods for gaseous exhaust emissions during ...*, <https://www.iso.org/standard/59880.html>.
- Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Reverté, S.A.
- American Psychological Association (2019). *Publication Manual of the American Psychological Association* (7th ed.). American Psychological Association.



ANEXOS:

ANEXO A. Piezas y operaciones realizadas para su modelado

Figura 135. Culata

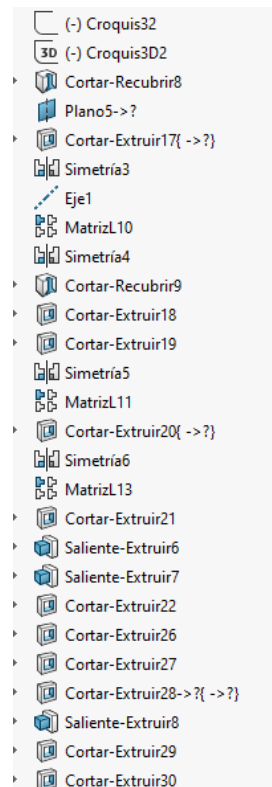
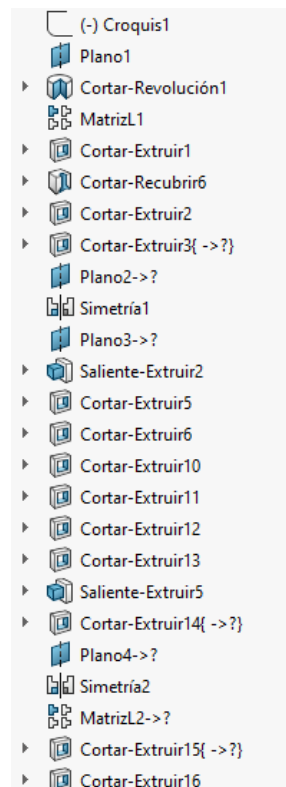
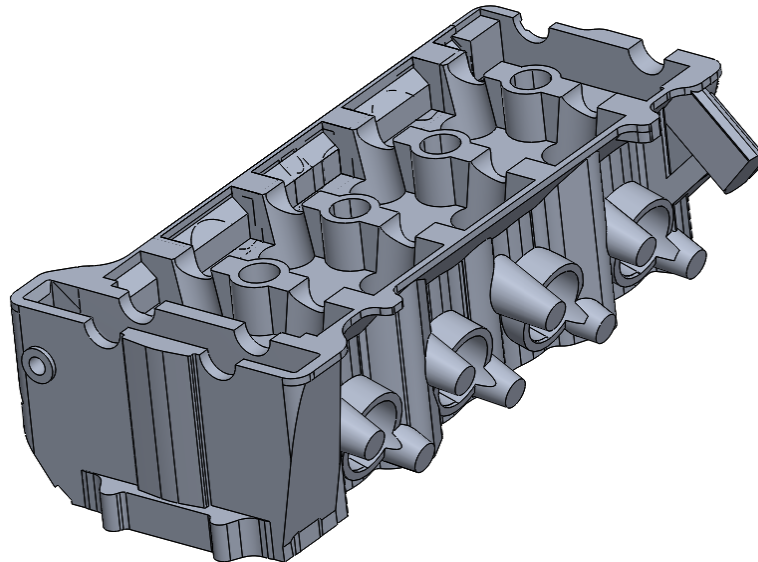
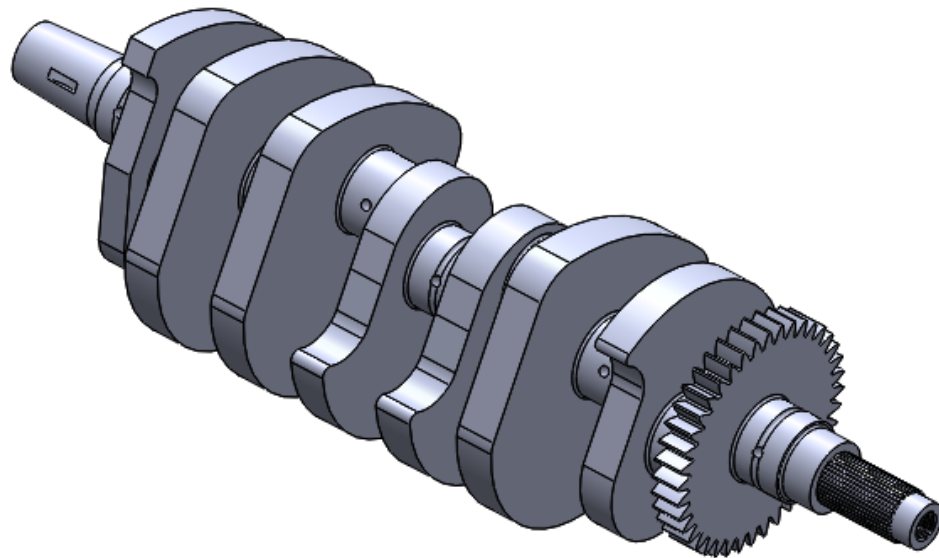
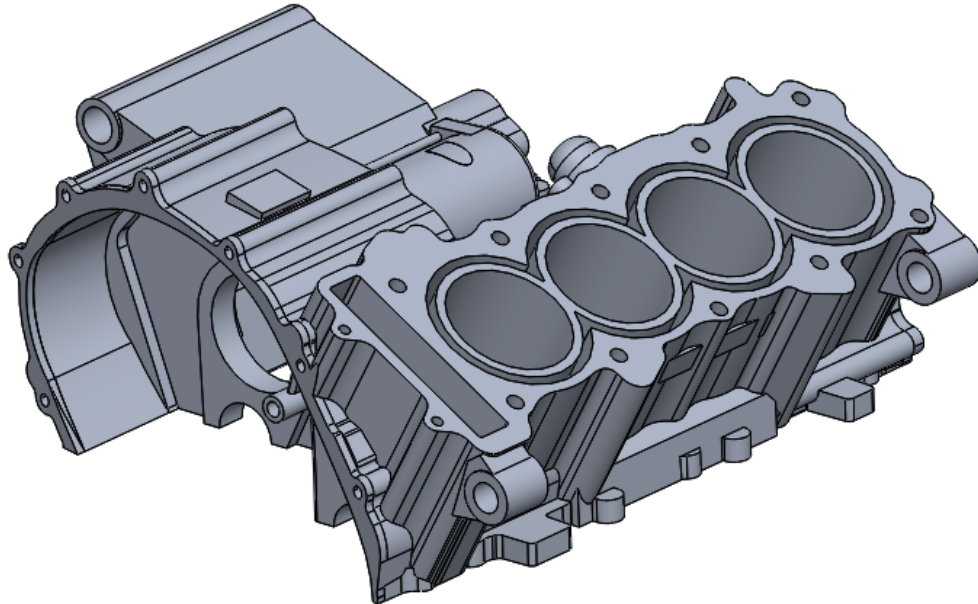


Figura 136. Cigüeñal



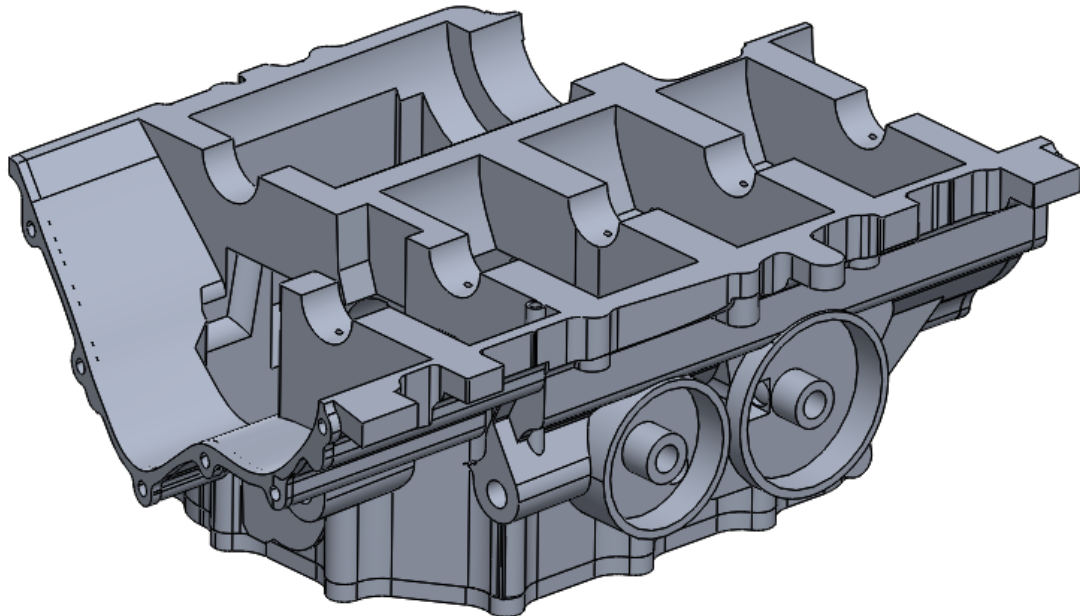
Eje1	Saliente-Extruir19
Revolución1	Saliente-Extruir20
Saliente-Extruir1	Saliente-Extruir21
Saliente-Extruir2	Saliente-Extruir22
Redondeo1	Cortar-Revolución4
Cortar-Revolución1	Cortar-Revolución5
Croquis7	Cortar-Revolución6
Saliente-Extruir3	Redondeo4
Saliente-Extruir4	Redondeo5
Saliente-Extruir5	Cortar-Extruir3
Saliente-Extruir6	Cortar-Extruir4
Saliente-Extruir7	MatrizC1
Saliente-Extruir8	Cortar-Extruir5
Saliente-Extruir9	MatrizC2
Saliente-Extruir10	Cortar-Extruir6
Saliente-Extruir11	Cortar-Extruir10
Saliente-Extruir12	Saliente-Extruir23
Saliente-Extruir13	Taladro de margen para M102
Saliente-Extruir14	Rosca1
Saliente-Extruir15	
Saliente-Extruir16	
Saliente-Extruir17	
Saliente-Extruir18	

Figura 137. Bloque superior



▶ Saliente-Extruir1	▶ Cortar-Extruir21
▶ Cortar-Extruir1	▶ Cortar-Extruir22
▶ Croquis7	▶ Cortar-Extruir23
▶ Plano1	▶ Saliente-Extruir3
▶ Eje1	▶ Saliente-Extruir4->?{->?}
▶ Plano2	▶ Cortar-Extruir26
▶ Cortar-Extruir4	▶ Saliente-Extruir5
▶ Cortar-Extruir5{->?}	▶ Saliente-Extruir6
▶ Plano3	▶ MatrizC1
▶ Cortar-Extruir6{->?}	▶ Cortar-Extruir27
▶ Cortar-Extruir7	▶ Cortar-Extruir30
▶ Cortar-Extruir8	▶ Partir2
▶ Cortar-Extruir9	▶ Cortar-Extruir31
▶ Cortar-Extruir10	▶ Cortar-Extruir32
▶ Cortar-Extruir11	▶ Cortar-Extruir34
▶ Cortar-Extruir13	▶ Saliente-Extruir7
▶ Cortar-Extruir14{->?}	▶ Saliente-Extruir8{->?}
▶ Cortar-Extruir15{->?}	▶ Saliente-Extruir10
▶ Cortar-Extruir16{->?}	▶ Redondeo1
▶ Cortar-Extruir17	▶ Saliente-Extruir11{->?}
▶ Cortar-Extruir18	▶ Redondeo2
▶ Cortar-Extruir19	▶ Cortar-Extruir35
▶ Cortar-Extruir20	▶ Cortar-Extruir36
	▶ Cortar-Extruir37
	▶ Cortar-Extruir38
	▶ Cortar-Extruir39

Figura 138. Bloque inferior



- | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| ▶ Cortar-Extruir1->?{ ->?} | ▶ Eje1 | ▶ Cortar-Extruir30 |
| ▶ Cortar-Extruir2->? | ▶ Cortar-Extruir19 | ▶ (-) Croquis52 |
| ▶ Cortar-Extruir3 | ▶ Partir1 | ▶ Saliente-Extruir14 |
| ▶ Cortar-Extruir4{ ->?} | ▶ Saliente-Extruir5 | ▶ Cortar-Extruir32 |
| ▶ Cortar-Extruir5 | ▶ Cortar-Extruir20 | ▶ Croquis55 |
| ▶ Cortar-Extruir6{ ->?} | ▶ Cortar-Extruir21 | ▶ Barrer1 |
| ▶ Saliente-Extruir1 | ▶ Cortar-Extruir22 | ▶ Saliente-Extruir15 |
| ▶ Plano1 | ▶ Saliente-Extruir6 | ▶ Redondeo5 |
| ▶ Cortar-Extruir7 | ▶ Saliente-Extruir7 | ▶ Redondeo10 |
| ▶ Cortar-Extruir8 | ▶ Saliente-Extruir8 | ▶ Cortar-Extruir33 |
| ▶ Cortar-Extruir9 | ▶ Cortar-Extruir24 | ▶ Saliente-Extruir16 |
| ▶ Cortar-Extruir10 | ▶ Cortar-Extruir25 | ▶ Cortar-Extruir34 |
| ▶ Cortar-Extruir11 | ▶ Cortar-Extruir26 | ▶ Cortar-Extruir36 |
| ▶ Cortar-Extruir12 | ▶ Eje2 | ▶ Saliente-Extruir17 |
| ▶ Cortar-Extruir13 | ▶ Saliente-Extruir9 | ▶ Cortar-Extruir37 |
| ▶ Cortar-Extruir14 | ▶ Cortar-Extruir27 | ▶ Cortar-Extruir38 |
| ▶ Cortar-Extruir15 | ▶ Cortar-Extruir28 | ▶ Cortar-Extruir39 |
| ▶ Cortar-Extruir16 | ▶ Saliente-Extruir10 | ▶ Cortar-Extruir40 |
| ▶ Saliente-Extruir3 | ▶ Redondeo2 | ▶ Cortar-Extruir41 |
| ▶ Saliente-Extruir4 | ▶ Redondeo3 | ▶ Cortar-Extruir42 |
| ▶ Cortar-Extruir17 | ▶ Saliente-Extruir11{ ->?} | ▶ Redondeo11 |
| ▶ Redondeo1 | ▶ Saliente-Extruir12 | |
| ▶ Cortar-Extruir18 | ▶ Croquis49 | |
| | ▶ Saliente-Extruir13 | |

Figura 139. Carter

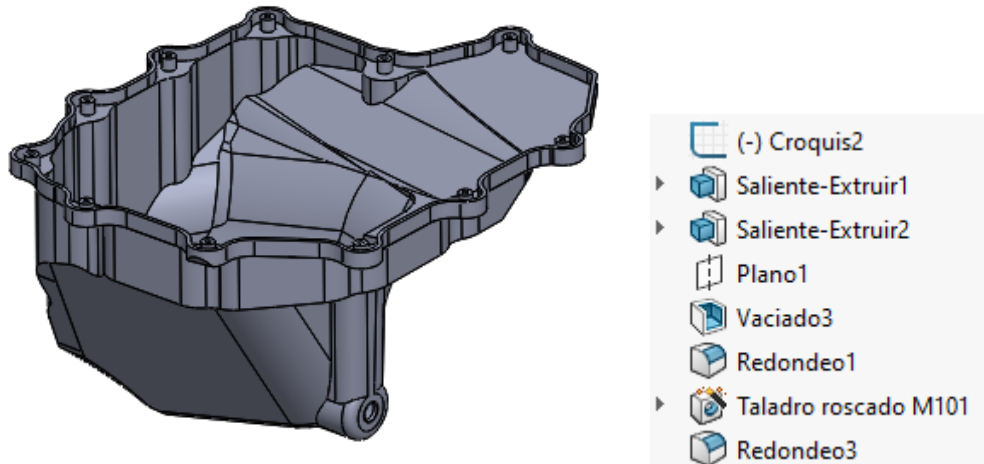


Figura 140. Tapa de alternador

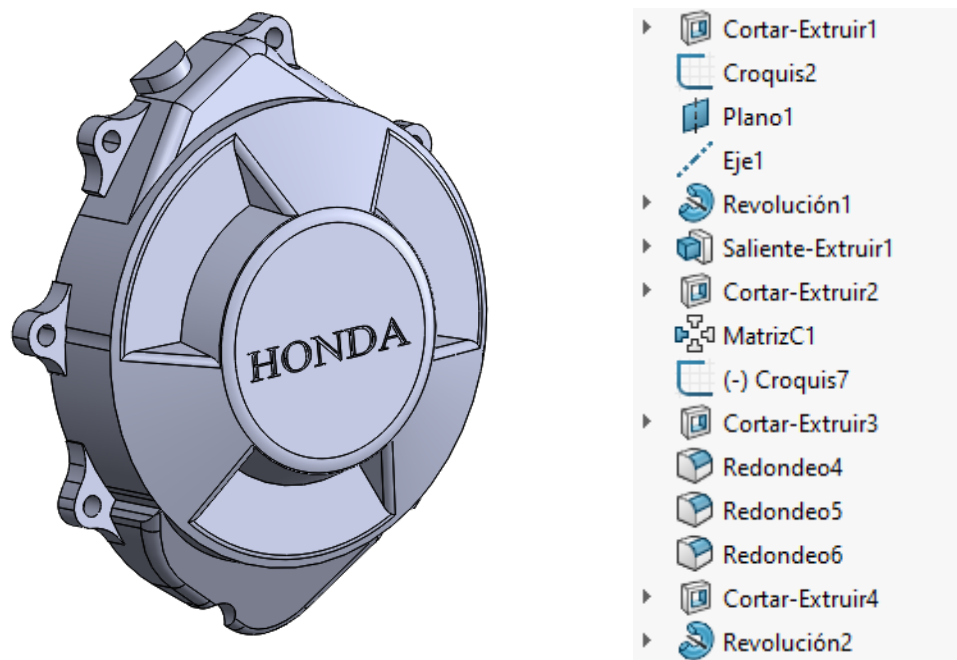
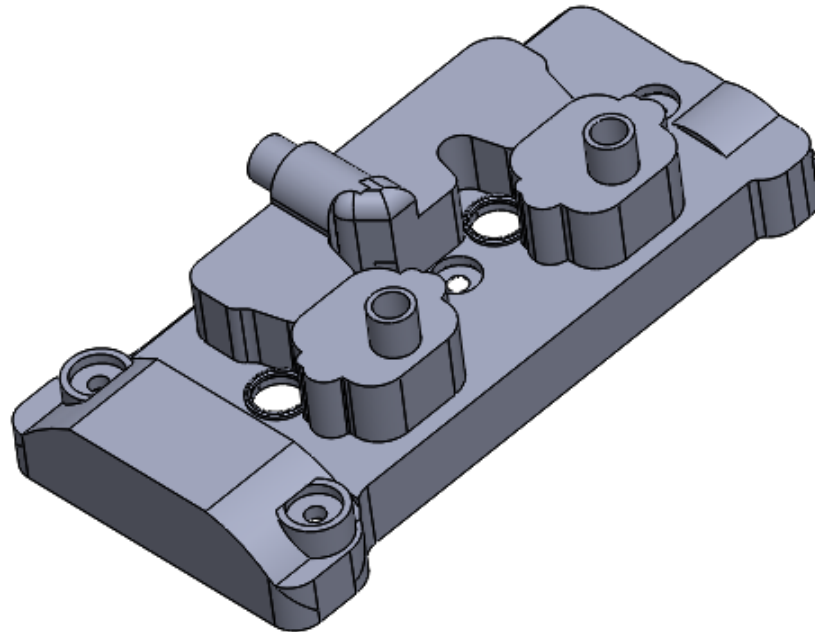
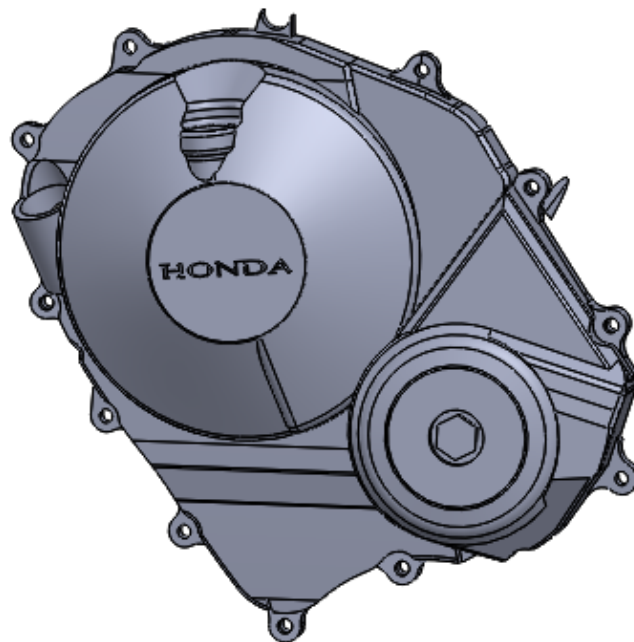


Figura 141. Tapa de culata



- ▶ Saliente-Extruir2
- ▶ Saliente-Extruir3
- ▶ Vaciado17
- ▶ Cortar-Extruir2
- ▶ Cortar-Extruir3
- ▶ Saliente-Extruir6
- ▶ Redondeo2
- ▶ Redondeo3
- ▶ Cortar-Extruir4
- ▶ Saliente-Extruir7
- ▶ Saliente-Extruir8
- ▶ Refrentado para tornillo con cabeza plana de M102
- ▶ Refrentado para tornillo con cabeza plana de M103
- ▶ Cortar-Extruir5
- ▶ Cortar-Extruir6
- ▶ Cortar-Extruir7
- ▶ Saliente-Extruir9
- ▶ Redondeo4
- ▶ Redondeo10
- ▶ Redondeo9
- ▶ Redondeo8
- ▶ Redondeo7
- ▶ Redondeo6
- ▶ Redondeo5

Figura 142. Tapa de embrague



- (-) Croquis4
- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Cortar-Extruir1
- Plano1
- ▶ Cortar-Extruir2
- ▶ Sólido-Eliminar/Conservar 1
- ▶ Sólido-Eliminar/Conservar 2
- Combinar4
- ▶ Cortar-Extruir3
- ▶ Cortar-Extruir4
- Eje1
- Punto1
- Plano2
- ▶ Revolución1
- Combinar5
- ▶ Saliente-Extruir2
- ▶ Cortar-Extruir6
- ▶ Cortar-Extruir7
- ▶ Cortar-Extruir8
- ▶ Cortar-Extruir9
- ▶ Cortar-Extruir10
- Redondeo5
- ▶ Cortar-Extruir11
- Eliminar cara1

Figura 143. Cabeza de pistón

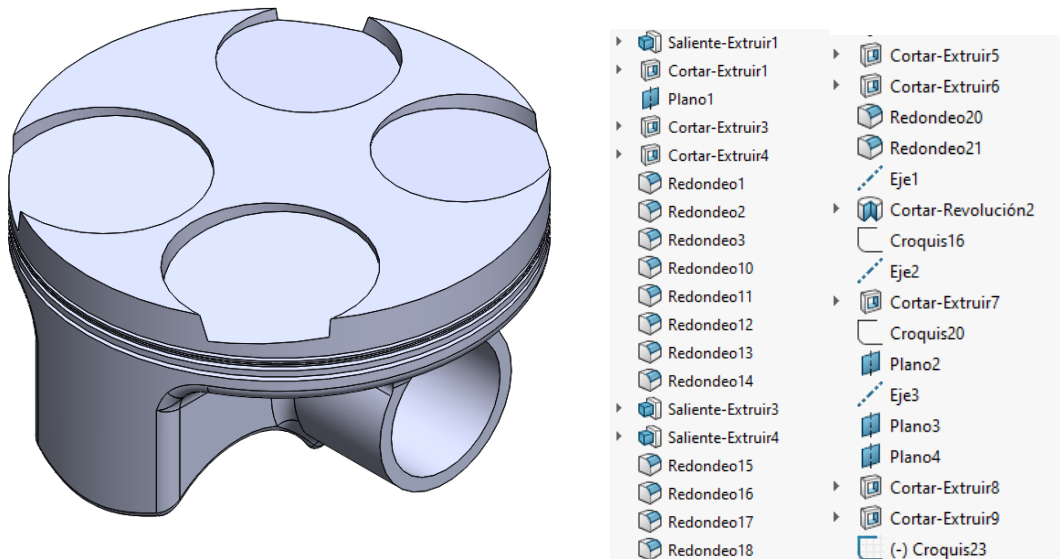


Figura 144. Biela

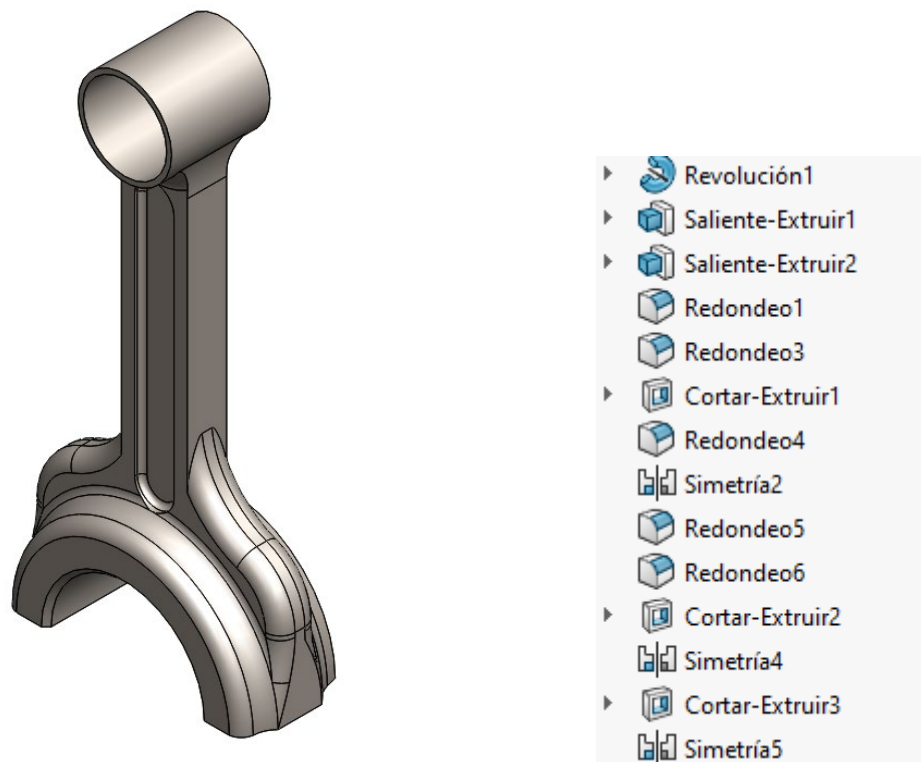


Figura 145. Sombrerete de biela

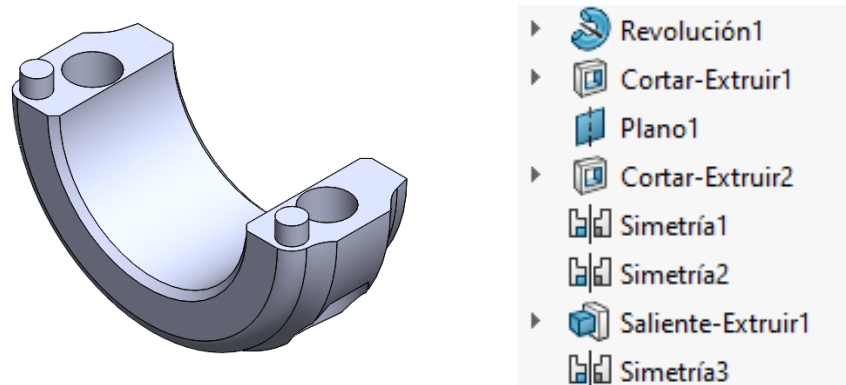


Figura 146..Bulón

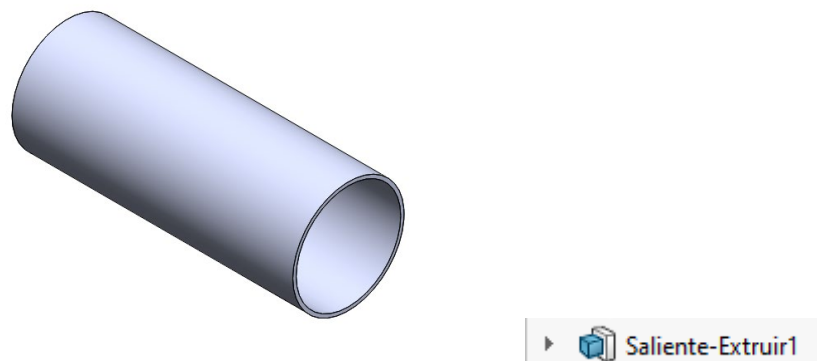


Figura 147.Bendix

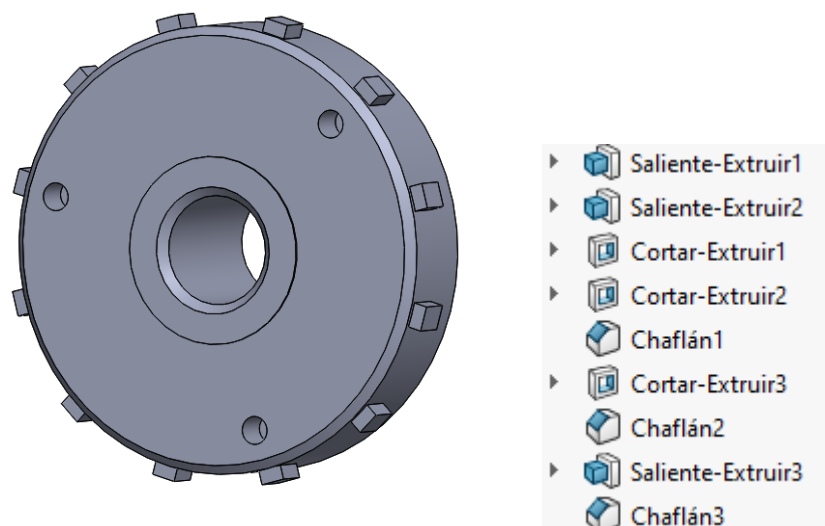


Figura 148. Corona de bendix

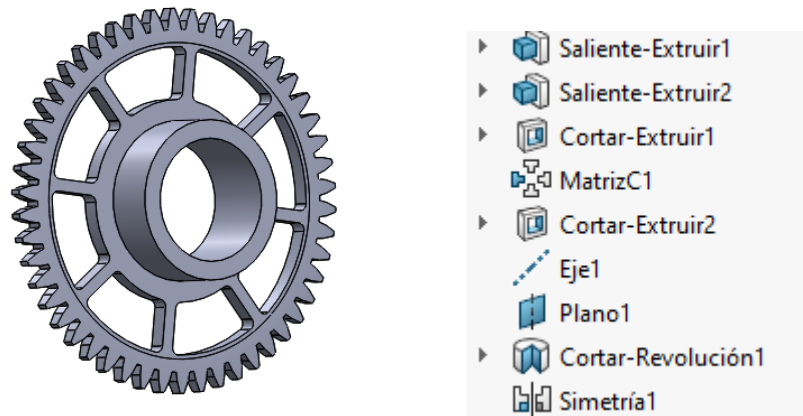


Figura 149. Engranaje de reenvío del arranque

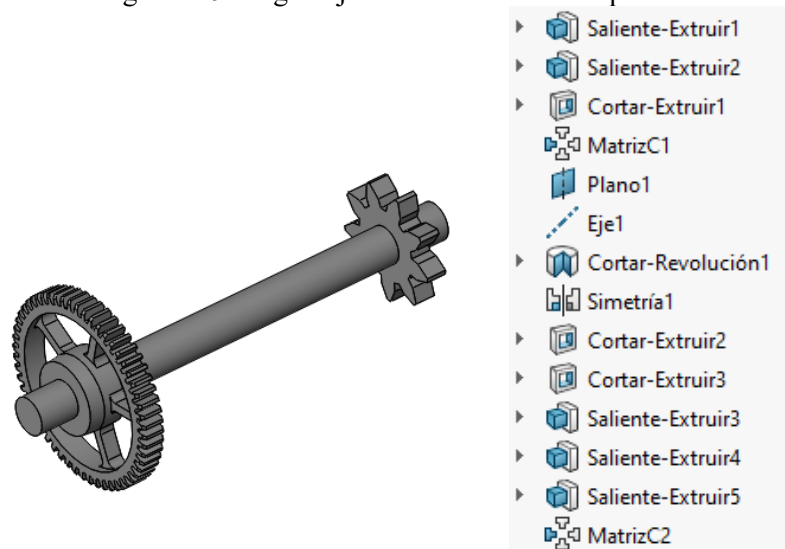


Figura 150. Piñón de la distribución del cigüeñal

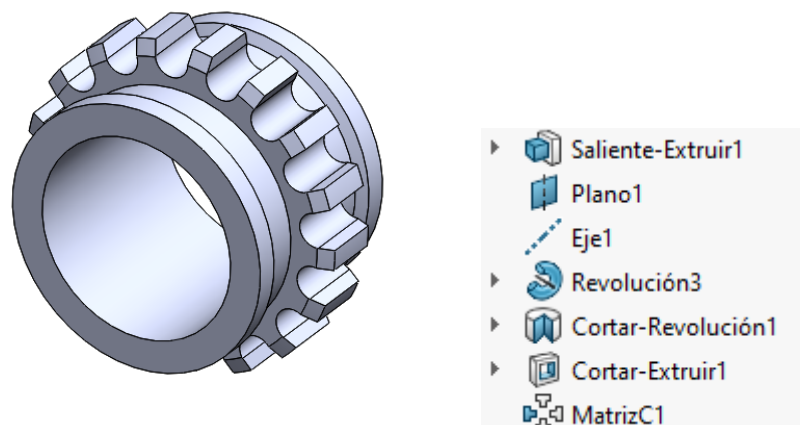


Figura 151. Engranaje auxiliar del arranque

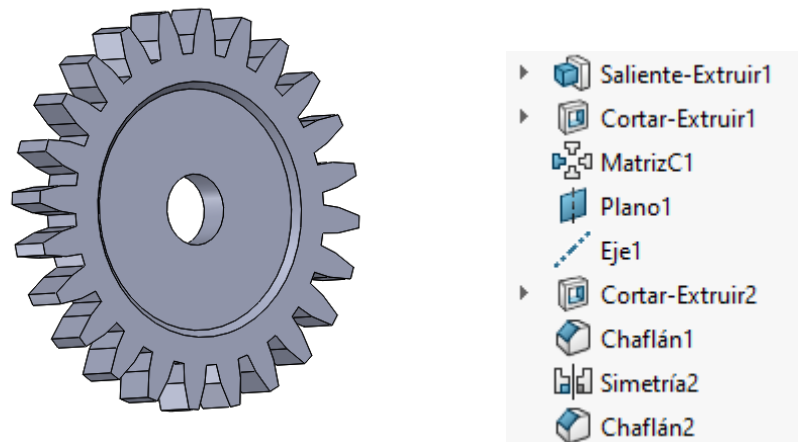


Figura 152. Canasta de embrague

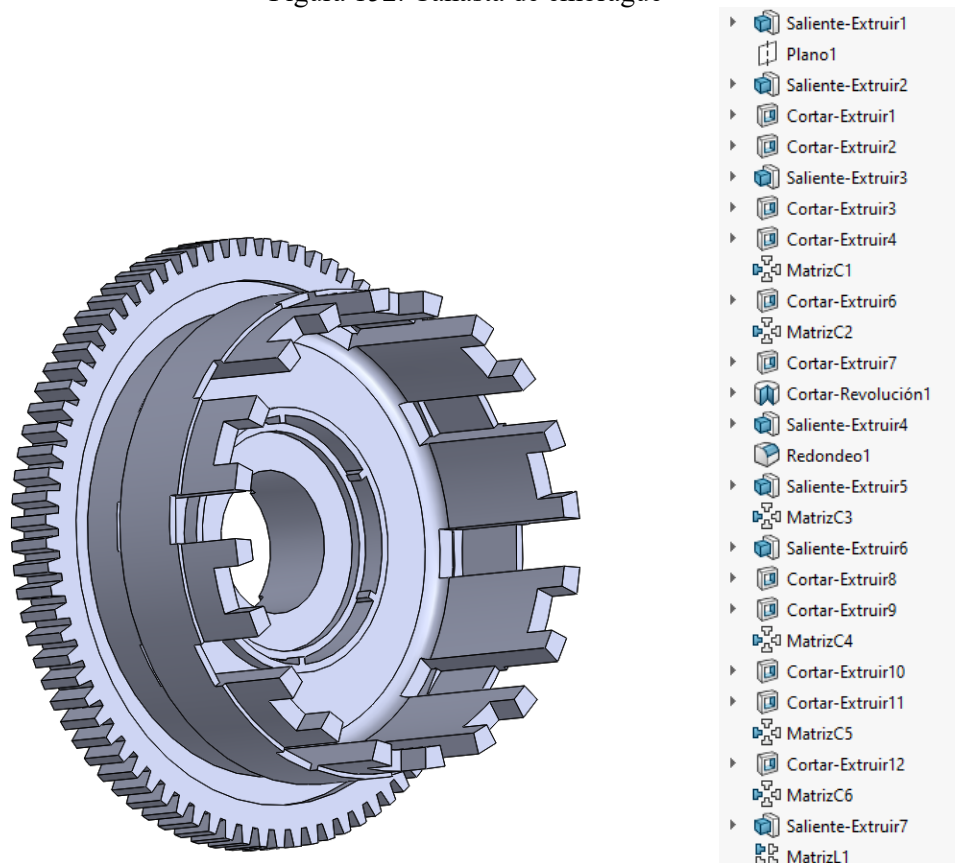


Figura 153. Campana de embrague

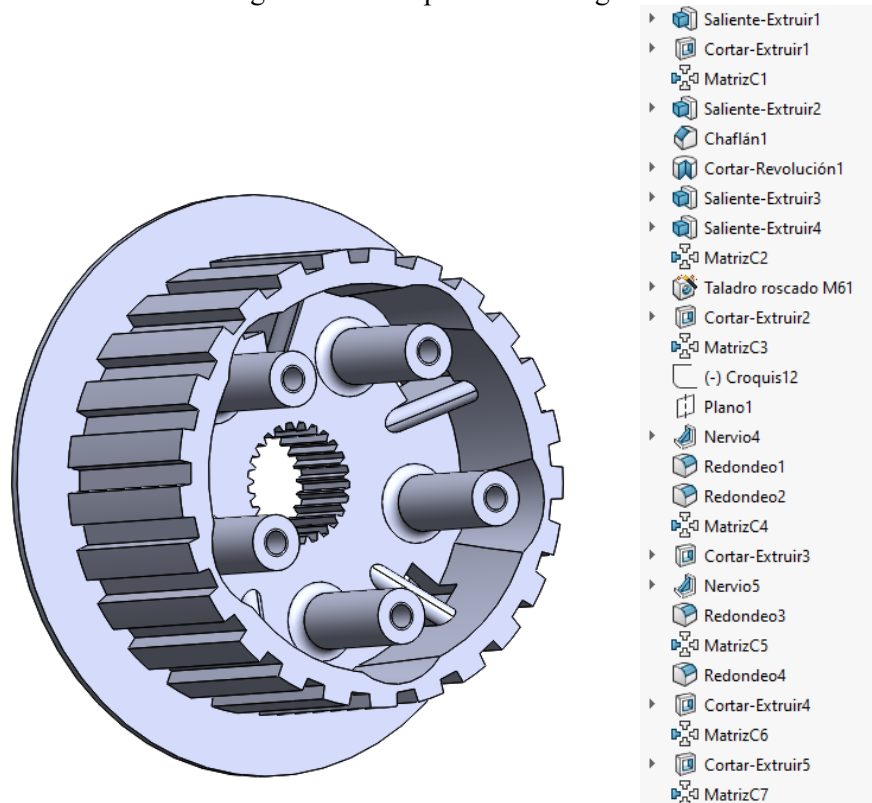


Figura 154. Empujador de discos de embrague

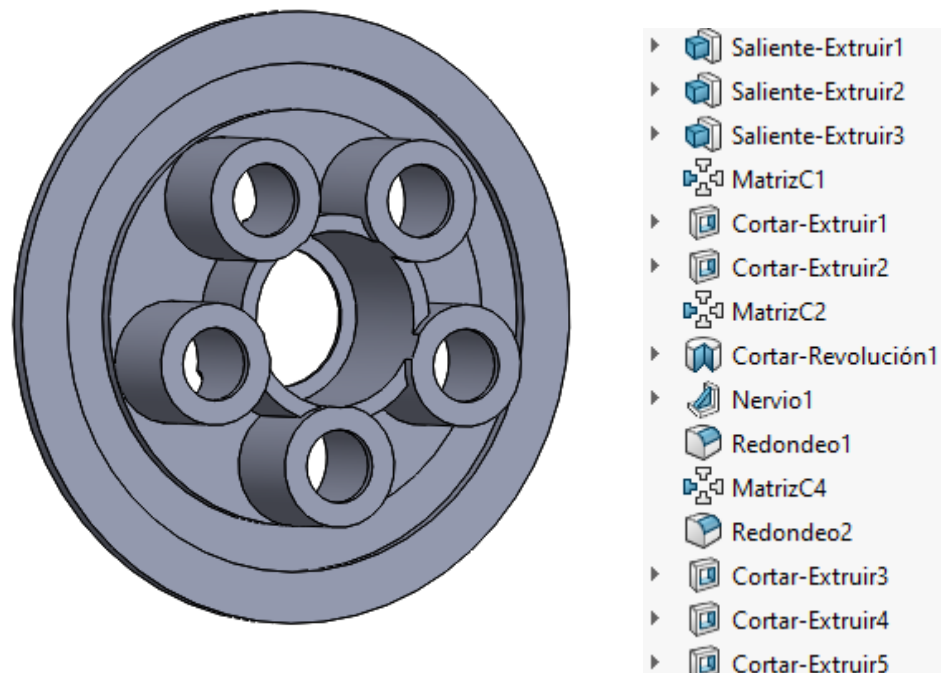


Figura 155. Disco de embrague

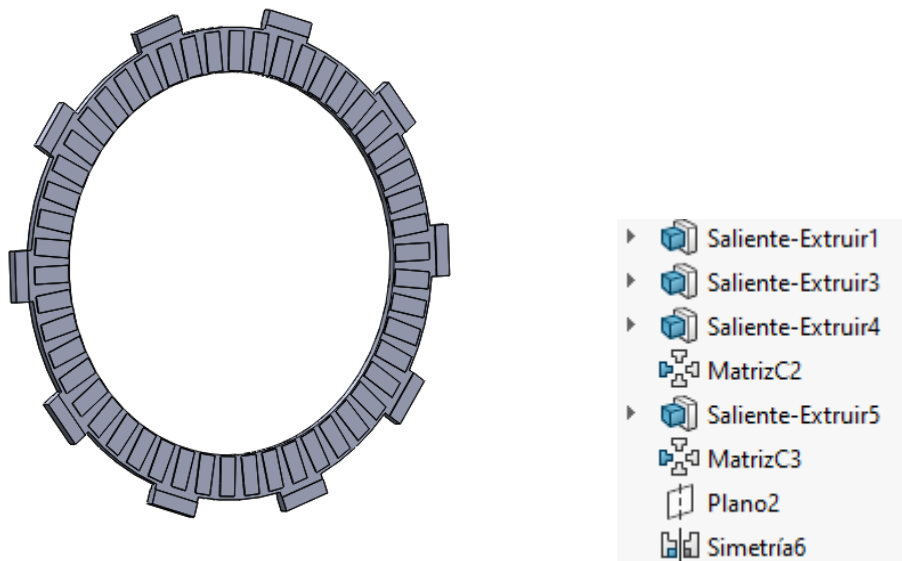


Figura 156. Separador de discos de embrague

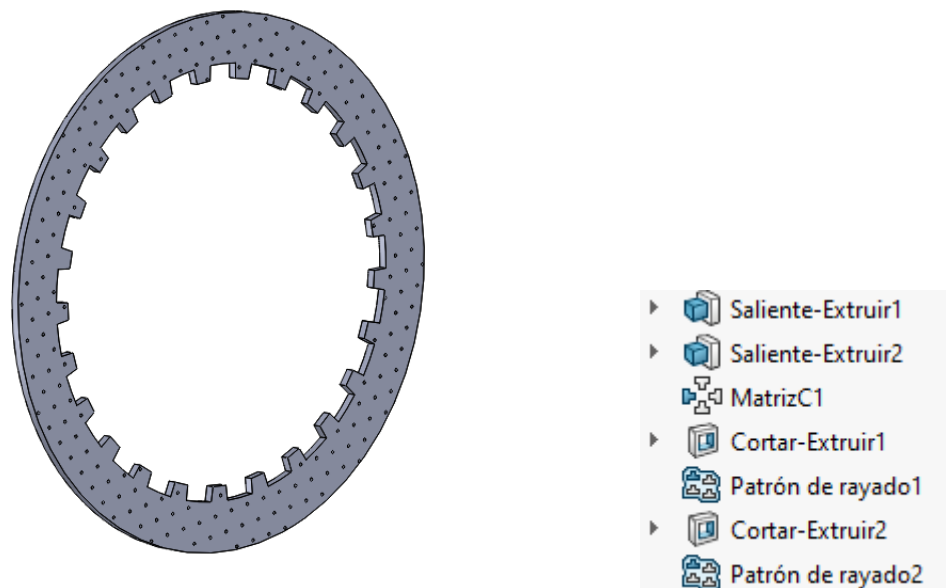
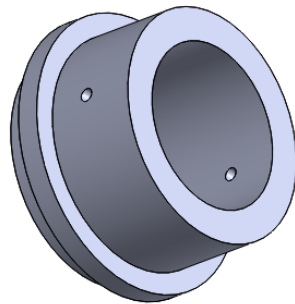
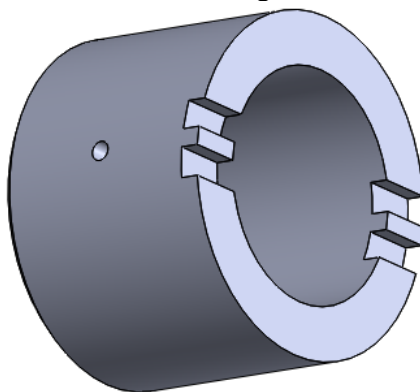


Figura 157. Casquillo interior



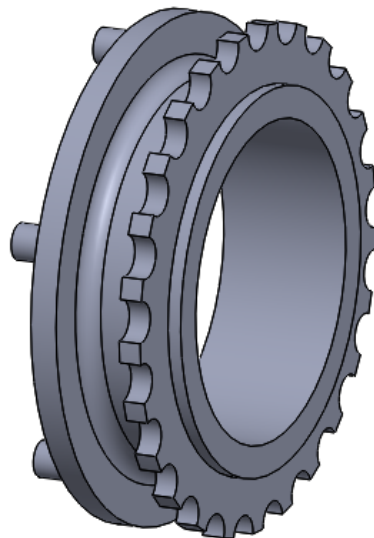
- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Saliente-Extruir2
- ▶ Cortar-Extruir1

Figura 158. Casquillo exterior



- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Chaflán1
- ▶ Cortar-Extruir1
- ▶ Cortar-Extruir2

Figura 159. Corona cadena de la bomba de aceite



- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Saliente-Extruir2
- ▶ Saliente-Extruir3
- ▶ Redondeo1
- ▶ Plano1
- ▶ Saliente-Extruir4
- ▶ Cortar-Extruir1

Figura 160. Rodamiento de agujas de embrague

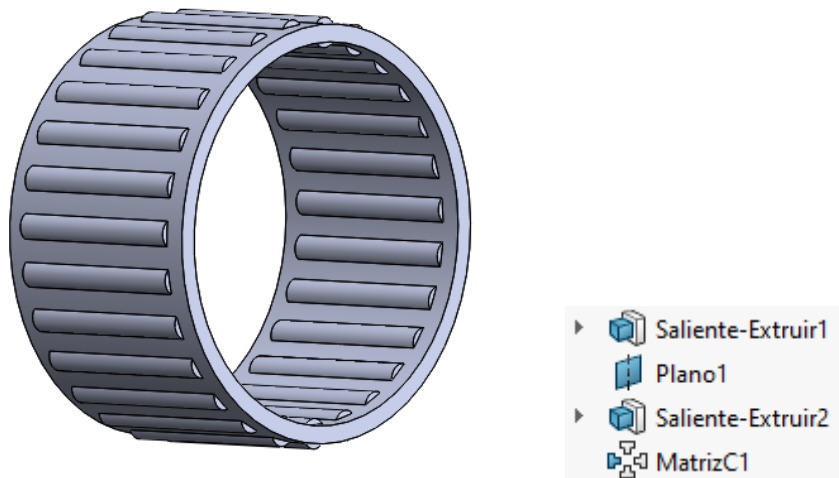


Figura 161. Tornillo compresor de muelle de embrague

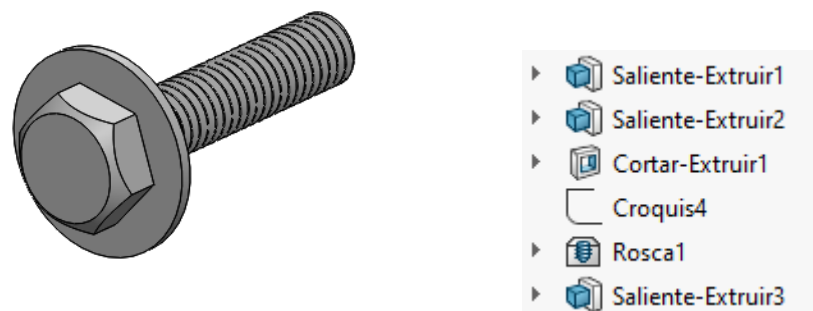


Figura 162. Muelle de embrague

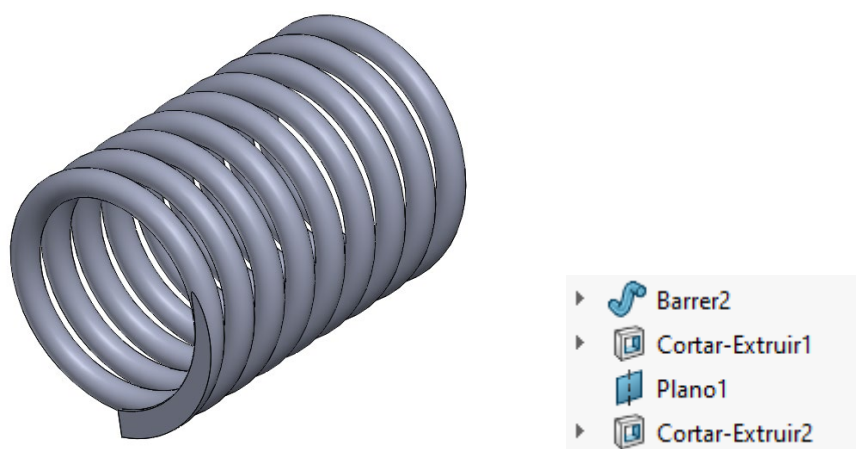


Figura 163. Tuerca de bloqueo para embrague

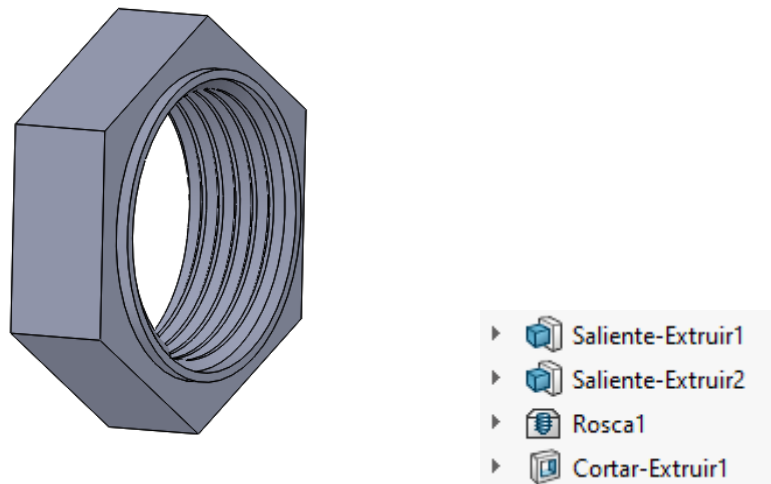


Figura 164. Rodamiento del empujador de embrague

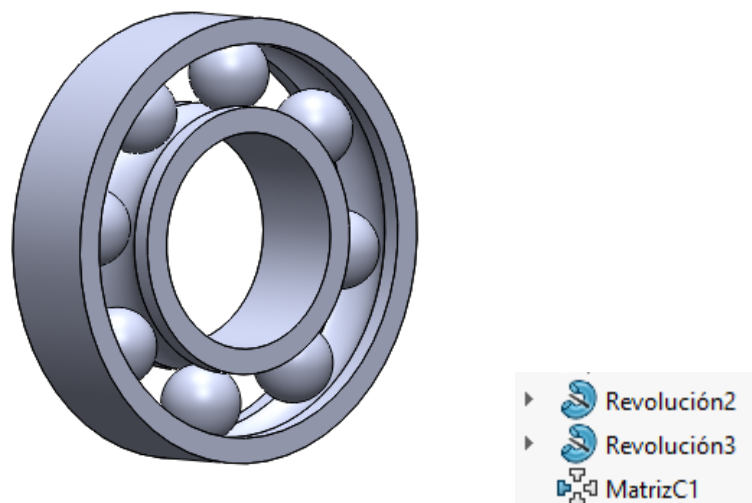


Figura 165. Accionador de embrague

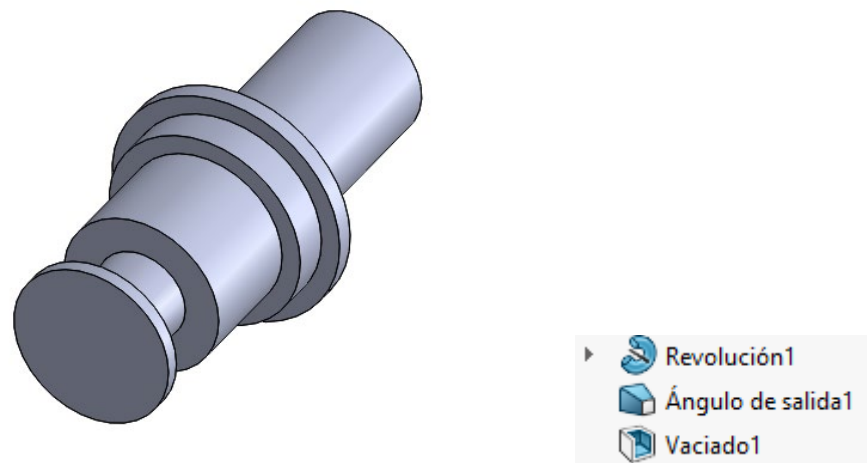


Figura 166. Corona de bomba de aceite

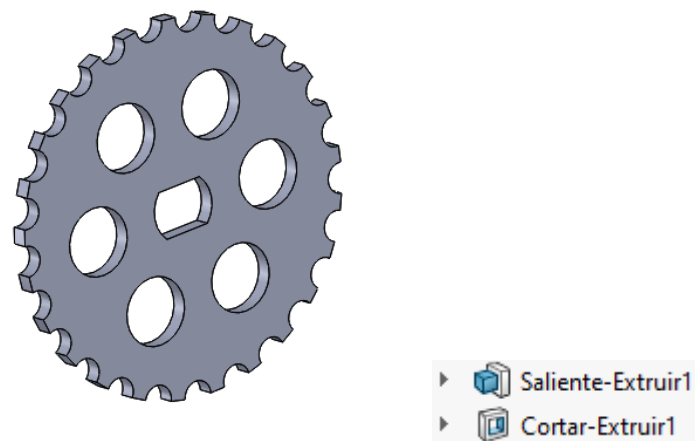


Figura 167. Eslabón de la cadena para la bomba de aceite

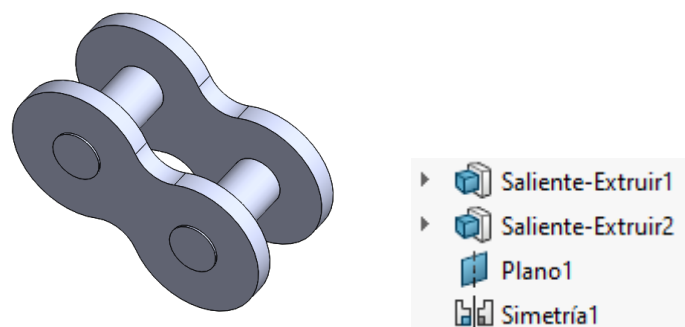


Figura 168. Bloque exterior bomba de aceite

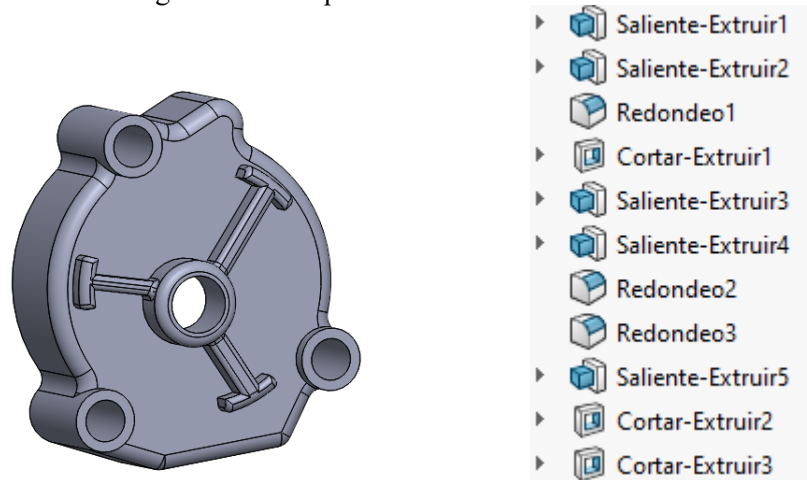


Figura 169. Rotor exterior bomba de aceite

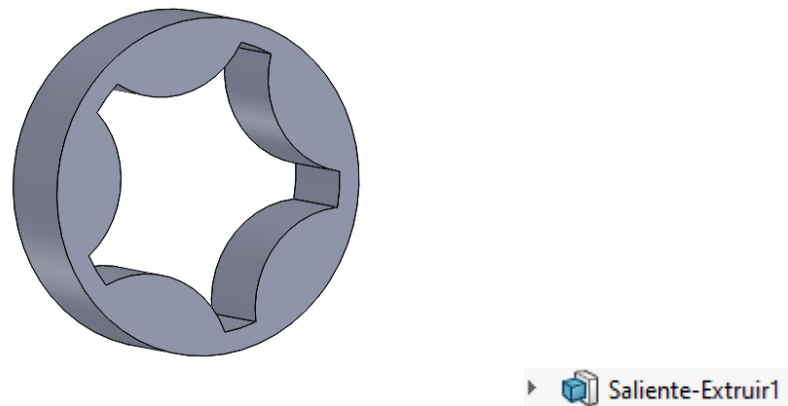


Figura 170. Rotor interior bomba de aceite

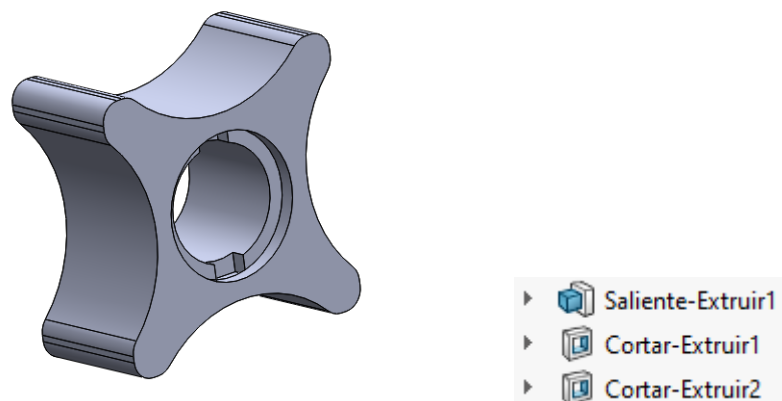
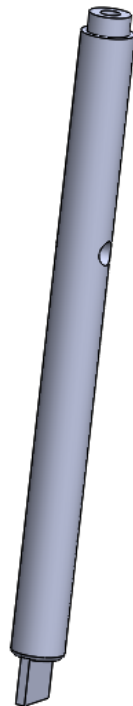
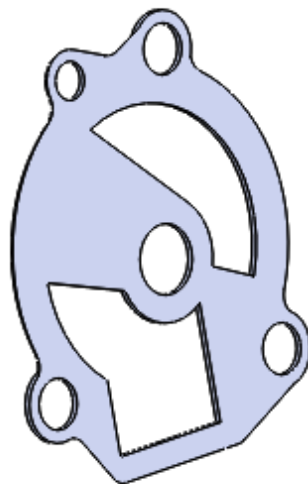


Figura 171. Eje de la bomba de aceite



- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Saliente-Extruir2
- Redondeo2
- ▶ Cortar-Extruir1
- ▶ Cortar-Extruir2
- ▶ Cortar-Extruir3

Figura 172. Junta de acero entre bloques de la bomba de aceite



- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Saliente-Extruir2
- Redondeo1
- ▶ Cortar-Extruir1
- ▶ Saliente-Extruir3
- ▶ Saliente-Extruir4
- Redondeo2
- Redondeo3
- ▶ Saliente-Extruir5
- ▶ Cortar-Extruir2
- ▶ Cortar-Extruir3
- ▶ Cortar-Extruir4
- ▶ Cortar-Extruir5
- ▶ Cortar-Extruir6

Figura 173. Tapón para el mecanizado de los conductos de aceite

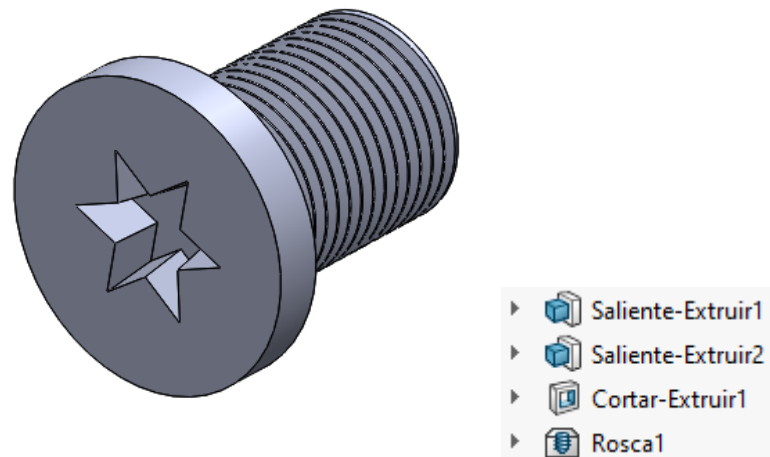


Figura 174. Taqué

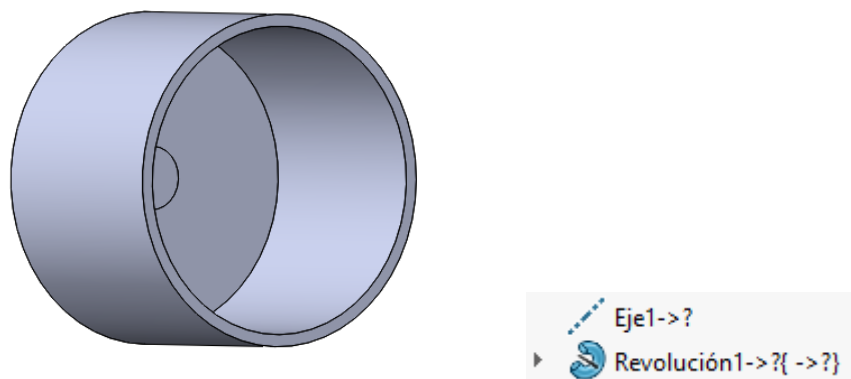


Figura 175. Chaveta cónica

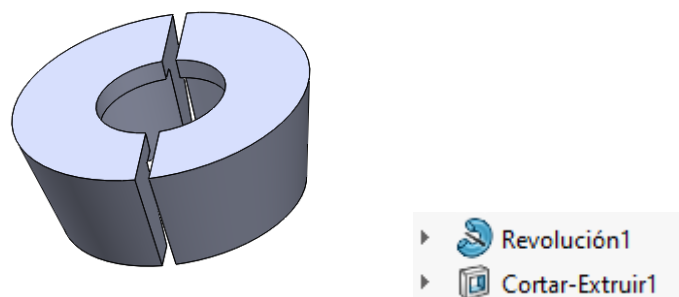


Figura 176. Pastilla calibrada

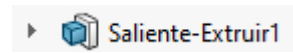
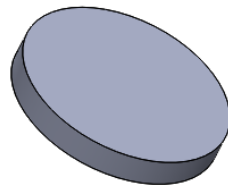


Figura 177. Muelle interior de la válvula

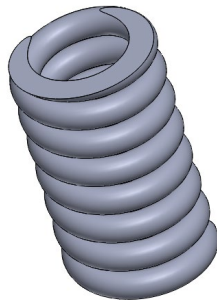


Figura 178. Muelle exterior de la válvula

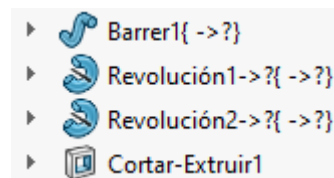
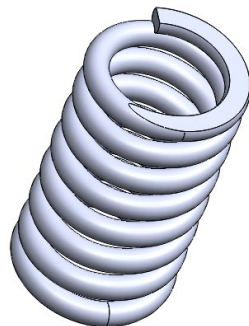


Figura 179. Copela

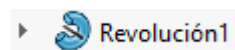
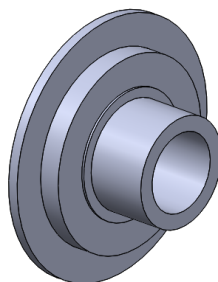


Figura 180. Válvula de admisión

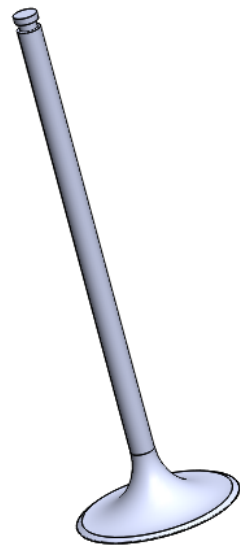


Figura 181. Válvula de escape

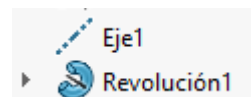
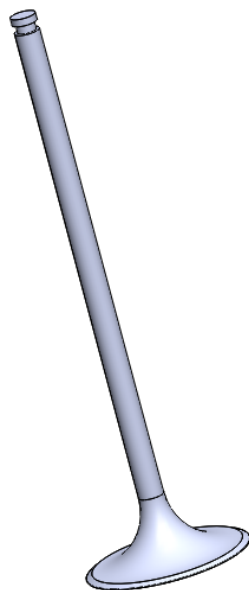
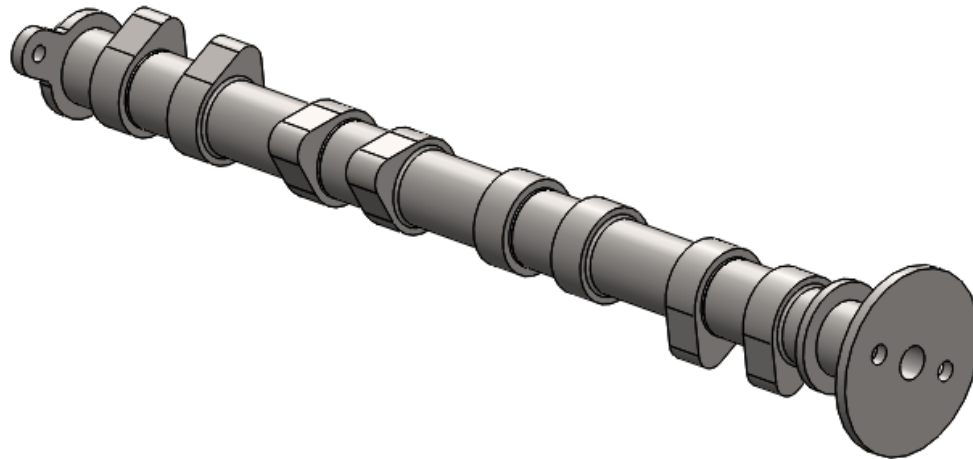
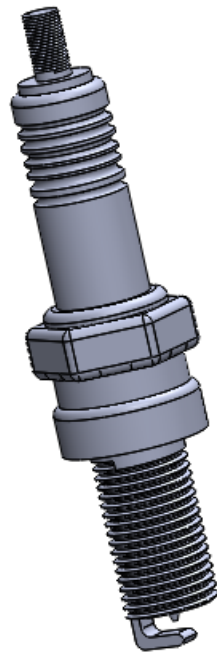


Figura 182. Árbol de levas



- | | |
|----------------------|----------------------|
| ▶ Saliente-Extruir1 | ▶ Plano16 |
| ▶ Saliente-Extruir2 | ▶ Saliente-Extruir11 |
| ▶ Plano1 | ▶ Redondeo1 |
| ▶ Plano9 | ▶ Redondeo2 |
| ▶ Plano10 | ▶ Redondeo3 |
| ▶ Plano11 | ▶ Plano17 |
| ▶ Plano12 | ▶ Plano18 |
| ▶ Plano13 | ▶ Plano19 |
| ▶ Plano14 | ▶ Saliente-Extruir12 |
| ▶ Plano15 | ▶ Saliente-Extruir13 |
| ▶ Saliente-Extruir3 | ▶ Saliente-Extruir14 |
| ▶ Saliente-Extruir4 | ▶ Saliente-Extruir15 |
| ▶ Saliente-Extruir5 | ▶ Redondeo4 |
| ▶ Saliente-Extruir6 | ▶ Cortar-Extruir1 |
| ▶ Saliente-Extruir7 | ▶ Saliente-Extruir16 |
| ▶ Saliente-Extruir8 | ▶ Saliente-Extruir17 |
| ▶ Saliente-Extruir9 | ▶ Saliente-Extruir18 |
| ▶ Saliente-Extruir10 | ▶ Croquis20 |
| | ▶ Cortar-Extruir2 |
| | ▶ Cortar-Extruir3 |

Figura 183. Bujía



- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Saliente-Extruir2
- ▶ Saliente-Extruir3
- ▶ Saliente-Extruir4
- ▶ Saliente-Extruir5
- ▶ Saliente-Extruir6
- ▶ Saliente-Extruir7
- ▶ Saliente-Extruir8
- ▶ Cortar-Extruir1
- Redondeo2
- Eje1
- ▶ Cortar-Revolución1
- Rosca1
- Rosca2
- Redondeo4
- ▶ Saliente-Extruir9
- ▶ Saliente-Extruir10
- ▶ Saliente-Extruir11
- Redondeo5

Figura 184. Palanca de cambio



- ▶ Saliente-Extruir1
- ▶ Saliente-Extruir2
- ▶ Saliente-Extruir3
- ▶ Saliente-Extruir4
- ▶ Saliente-Extruir5
- ▶ Saliente-Extruir6
- ▶ Saliente-Extruir7
- ▶ Saliente-Extruir8
- ▶ Hélice/Espiral1
- Barrer1
- ▶ Barrer2
- ▶ Barrer3
- Eje1
- ▶ Cortar-Revolución1
- Chaflán1
- ▶ Cortar-Extruir1
- MatrizC1

Figura 185. Eje primario de la caja de cambios

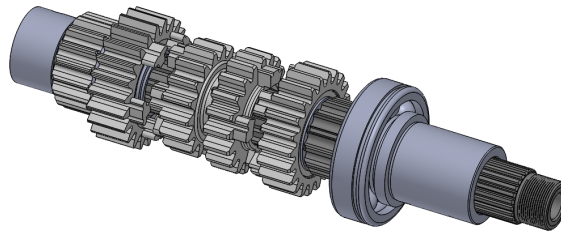


Figura 186. Eje secundario de la caja de cambios

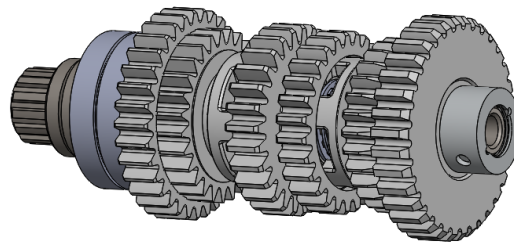


Figura 187. Tambor selector

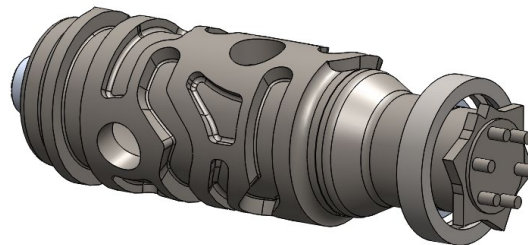
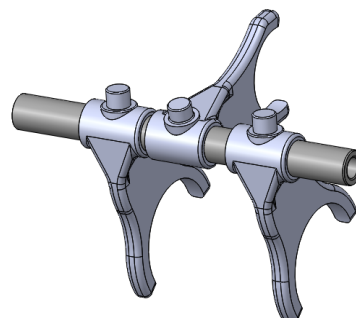


Figura 188. Horquilla selectora





ANEXO B. Ensamblajes y visualizaciones en conjunto

Figura 189. Ensamblaje completo

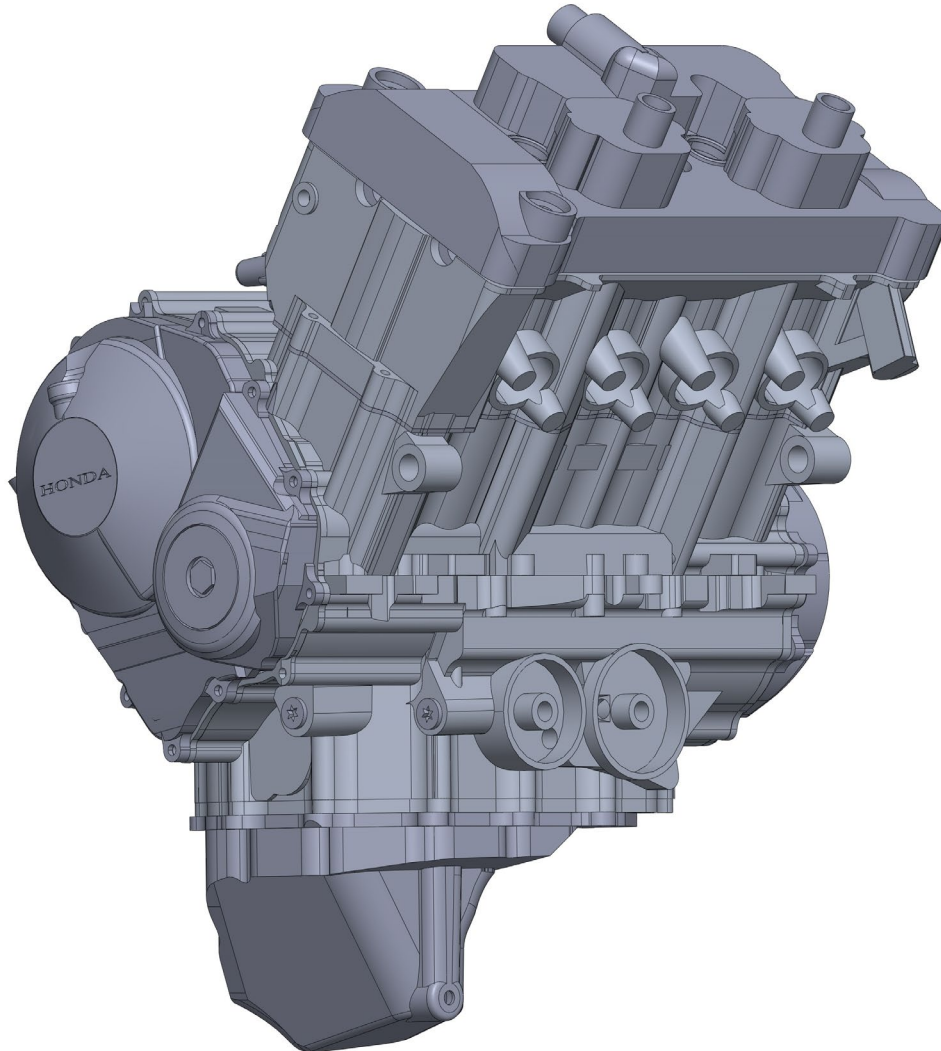


Figura 190. Ensamblaje completo en vista transparencia

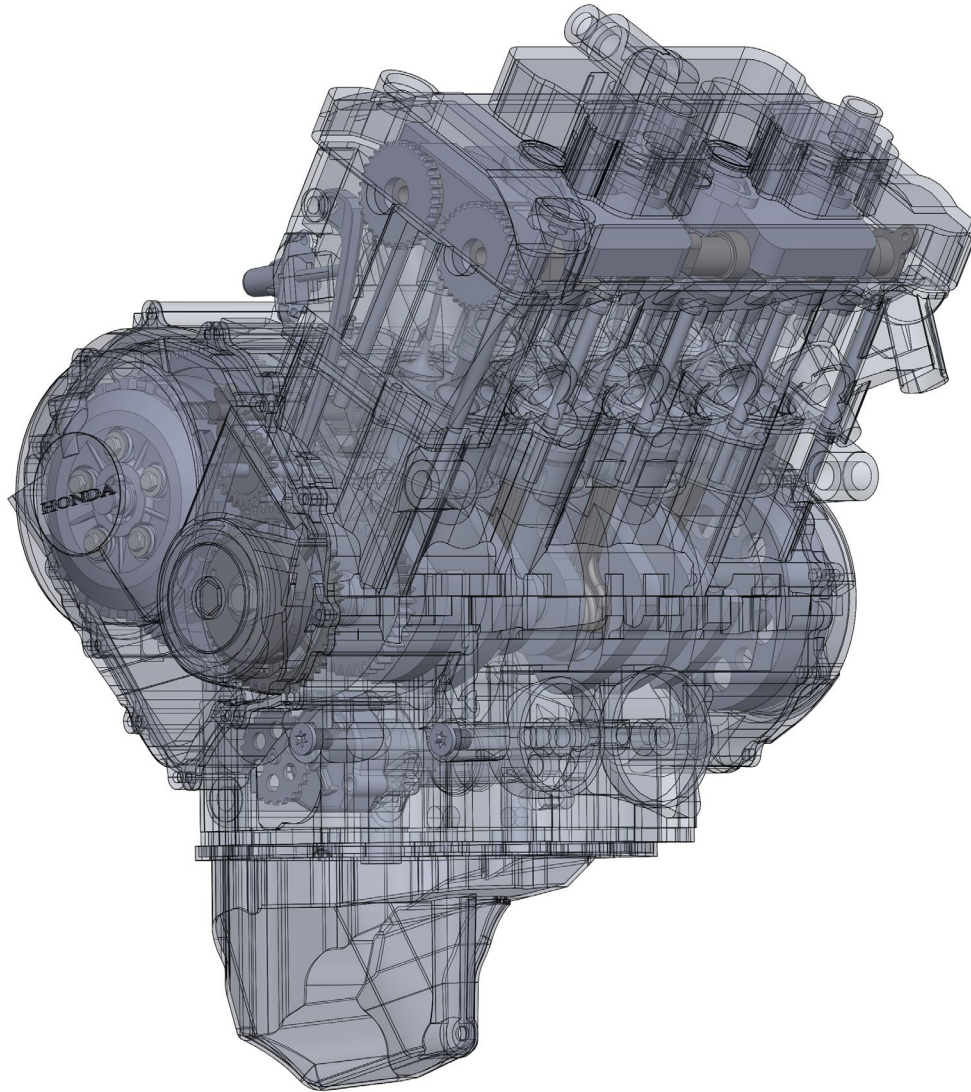


Figura 191. Ensamblaje completo con explosionado de la culata

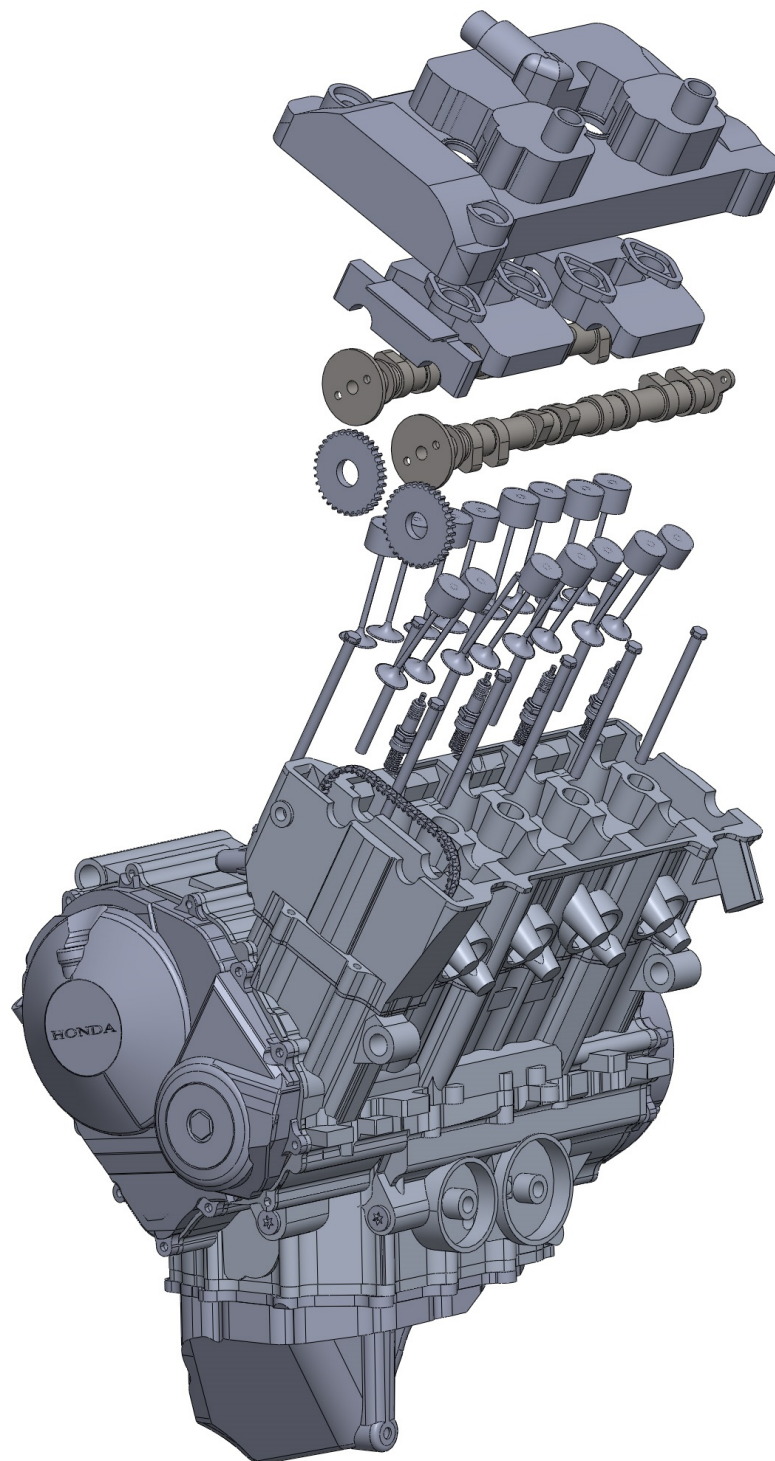


Figura 192. Ensamblaje completo con explosionado bloque superior

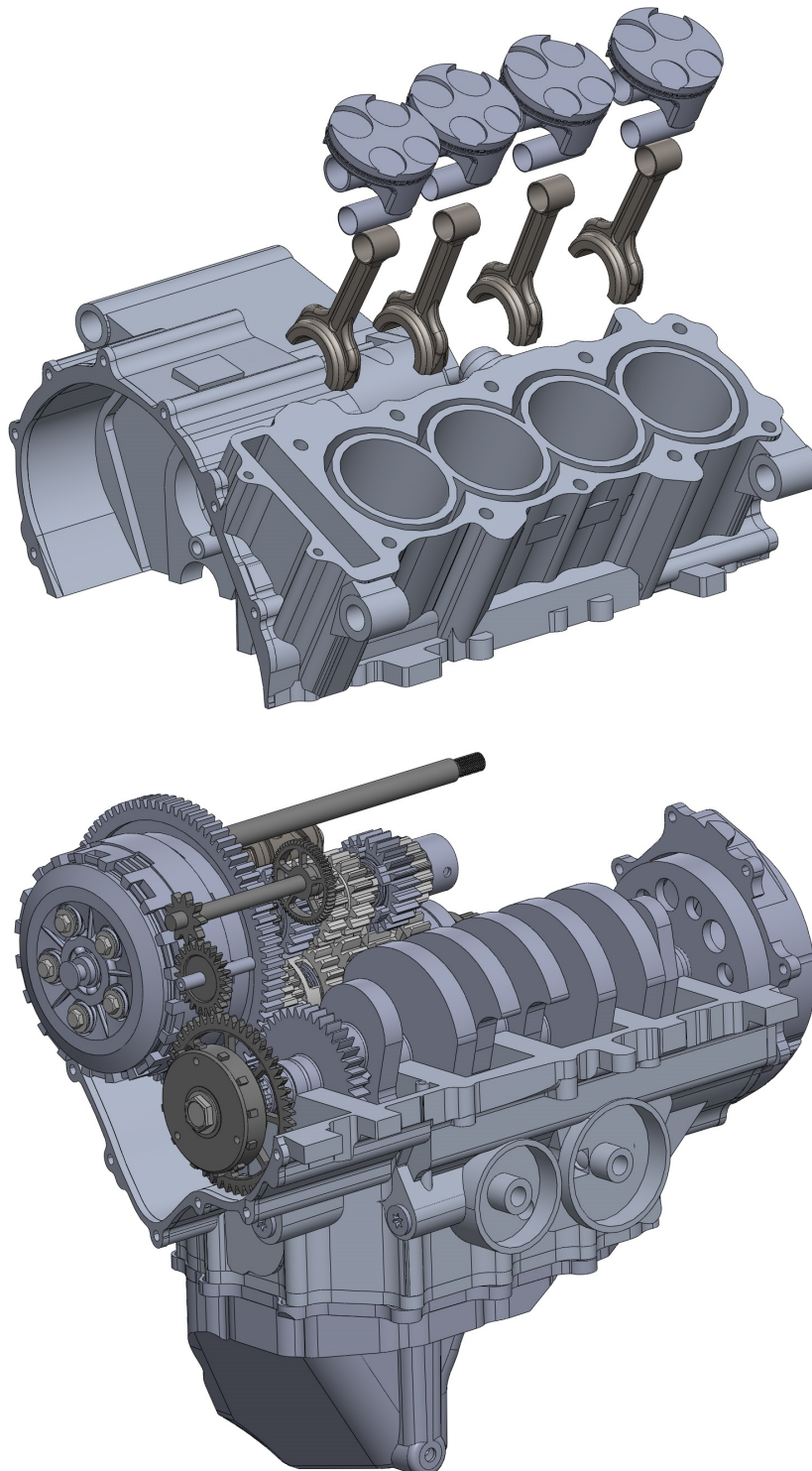
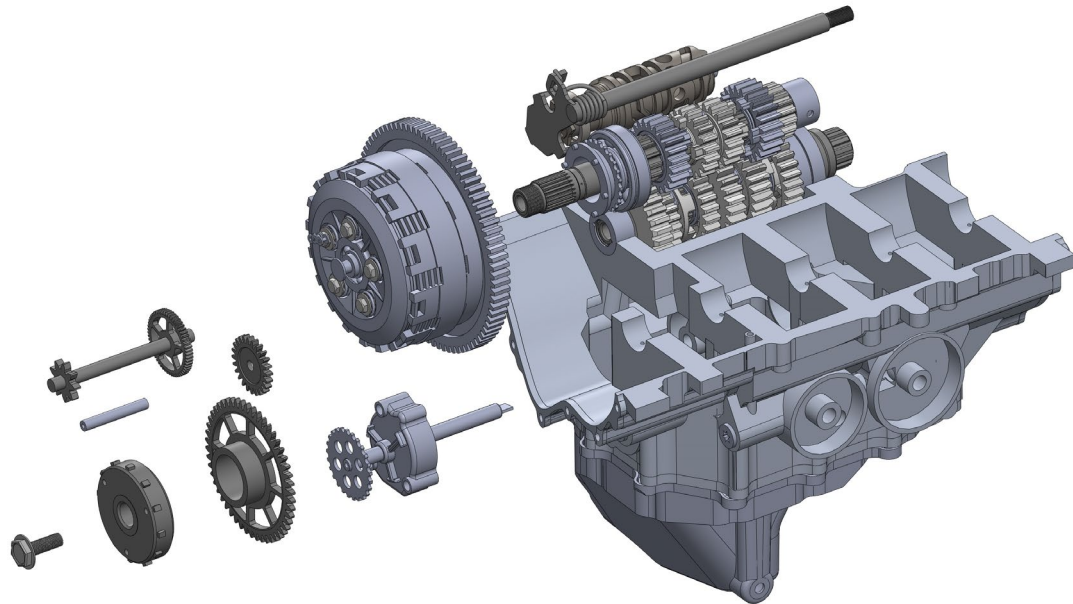


Figura 193. Ensamblaje completo, explosionado lateral





En Málaga, a 12 de enero de 2023

Fdo.: Francisco José Foncubierta Rojo